

Учредители:  
Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации,  
Межрегиональная общественная организация  
«Академия проблем качества»

## КАЧЕСТВО И ЖИЗНЬ

Научно-производственный  
культурно-образовательный журнал

**2025 № 2(46)**

Свидетельство о регистрации в Роскомнадзоре  
ПИ № 77-16571 от 13.10.2003

ISSN 2312-5209

Подписной индекс Пресса России – 43453

### Редакционный совет:

Г.И. Элькин (*председатель*), д.э.н.; А.П. Шалаев;  
В.Н. Азаров, д.т.н., проф.; В.Н. Бас, д.э.н.;  
В.Ф. Безъязычный, д.т.н., проф.;  
В.Я. Белобрагин, д.э.н., проф.;  
А.Б. Бельский, д.т.н., проф.,  
Б.В. Бойцов, д.т.н., проф.;  
И.Н. Бокарев, д.мед.н., проф.;  
В.А. Васильев, д.т.н., проф.;  
С.А. Васин, д.т.н., проф.; В.Г. Версан, д.э.н., проф.;  
Г.П. Воронин, д.э.н., проф.;  
А.В. Евсеев, д.т.н., доцент;  
С.Г. Емельянов, д.т.н., проф.;  
Ю.В. Илюхин, д.т.н., проф.,  
Л.К. Исаев, д.т.н., проф.;  
И.А. Коровкин, к.э.н.;  
Ю.В. Крянев, д.филос.н., проф.;  
В.И. Кулайкин, к.п.н.;  
В.В. Окрепилов, д.э.н., проф., акад. РАН;  
М.А. Погосян, д.т.н., проф., акад. РАН;  
М.Л. Рахманов, д.т.н., проф.;  
А.К. Скворчевский, д.т.н., проф.;  
Н.Б. Топоров, д.т.н., проф.,  
П.Б. Шелищ, к.филос.н.;  
Б.А. Якимович, д.т.н., проф.

### Редакционная коллегия:

Б.В. Бойцов (главный редактор), д.т.н., проф.,  
засл. деятель науки РФ;  
К.В. Леонидов; М.Ю. Куприков, д.т.н., проф.;  
Г.Н. Иванова, к.э.н., доцент;  
И.А. Сосунова, д.социол.н., проф.;  
Ю.И. Денискин, д.т.н., проф.;  
М.М. Копкина (отв. секретарь),

Издатель – Межрегиональная общественная  
организация «Академия проблем качества  
им. В.В. Бойцова»  
117393, Москва, ул. Профсоюзная, д. 78, стр. 1  
Тел./факс: (499) 236-1536, e-mail: arq\_p@mail.ru  
www.academquality.ru,  
www.академия-качества.рф

Ответственный за выпуск: М.М. Копкина

Редактор и корректор: Е.В. Масибута  
Дизайн и компьютерная верстка: Ж.И. Егорова

### Работа с авторами и подписчиками:

Н.С. Боцманова,  
В.Ю. Ивашкова  
Тел./факс: (499) 236-3584, e-mail: ql-mail@mail.ru

Подписано в печать 26.06.2025  
Бумага мелованная. Заказ №  
Формат 60×90/8  
Гарнитура YanusC, Minion Pro  
Печать офсетная

Тираж 300 экз.  
Отпечатано в типографии  
ООО «Полиформат», г. Москва

Мнение авторов статей может не совпадать с мнением редакции. Перепечатка материалов, а также полное или частичное воспроизведение их в электронном виде возможны только с письменного разрешения издателя. Ссылка на журнал обязательна.

# СОДЕРЖАНИЕ

## СТАНДАРТИЗАЦИЯ

Миронов Д.Е.  
К юбилею принятия Федерального закона «О стандартизации  
в Российской Федерации» ..... 4

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ, КОНСТРУКЦИЯ И ПРОИЗВОДСТВО ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Бойцов Б.В., Ресинец А.И., Ресинец А.А.  
Анализ причин возникновения лесных пожаров и качественные методы  
борьбы и ним ..... 7

Бойцов Б.В., Ресинец А.И., Ресинец А.А., Школа А.В.  
Применение наземно-бортовых средств контроля технического состояния  
авиационной техники и современные тенденции их развития ..... 14

## УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Никаноров П.А., Краснобаев А.В., Долгова Е.М.  
Особенности построения системы внутреннего аудита в сетевых  
торговых организациях ..... 19

Анцыферов С.С., Фазилова К.Н., Муравьев Д.С.  
Управление качеством технологических процессов и оборудования  
интеллектуального наукоемкого производства ..... 26

Царегородцев Е.Л., Фомин В.А., Аль Дивани Р.А.  
Разработка визуальной модели процесса поддержания заданной  
температуры в экстракционной колонне ..... 29

Денисов В.Н., Аль Дивани Р.А.  
Применение вибрационного управления для реактора гидроочистки  
вакуумного газойля ..... 32

Голубева О.А., Димитров В.П., Швецов К.А., Цыганкова В.В.  
Управление качеством на разных этапах изготовления продукции  
легкой промышленности с применением цифровых инструментов ..... 37

## СТРАНИЧКА ЦСМ

Опыт реализации образовательно-просветительского проекта ..... 44

## УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА. МАШИНОВЕДЕНИЕ

Протасов В.Н., Романов И.О.  
О качестве, категориях качества, уровнях качества продукции  
машиностроения ..... 48

Бобрышев А.А.  
Способ повторного использования конструкторско-технологических  
решений для ускорения технологической подготовки производства  
в станкостроении ..... 54

А.О. Любенкова, Короткова Г.В.  
Операторное моделирование процесса производства блинов  
с мясной начинкой ..... 60

## **РОБОТЫ, МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

- Белкин У.В., Приходский А.А., Сериков С.А.  
Совершенствование методов децентрализованного управления  
роем роботов для реагирования на чрезвычайные ситуации:  
алгоритм расщепления..... 63

## **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА**

- Феофанов А.Н., Терешонок А.С.  
Интеллектуальная система планирования изготовления продукции  
в условиях опытного производства ..... 71
- Строгонова Л.Б., Баранов М.С.  
Особенность повышения качества работоспособности космонавтов  
в условиях обитаемой лунной базы на бортовой технической системе  
контроля и положения центра тяжести ..... 76

## **БЕЗОПАСНОСТЬ**

- Бойцов Б.В., Балановский В.Л., Грунин И.Ю., Балановский Л.В.,  
Писарева О.М., Д.Н. Медников Д.Н., Буков О.С.  
Развитие инструментария обеспечения безопасности и управления  
защищенностью промышленных объектов в условиях угрозы высокой  
интенсивности воздействия факторов риска..... 82
- Харитонов Ю.Н., Крапивин И.И., Белогорохов И.А.  
К вопросу зимней защиты стрелочных переводов на открытых участках  
Московского метрополитена ..... 93

## **ЦИФРОВИЗАЦИЯ. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА**

- Олаев В. А.  
Концепция цифрового завода и его внедрение в мебельное  
производство .....100

## **УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ**

- Царегородцев Е.Л., Фомин В.А., Аль Дивани Р.А.  
Оценка экономической эффективности автоматизации реактора  
гидроочистки вакуумного газойля на базе вибрационного управления .....107

## **ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

- Петрусевич С.Н., Жилин П.Л.  
Анализ эксплуатационных отказов и технологических вызовов  
применения дуплексных нержавеющей сталей в критической  
инфраструктуре России.....112

## **МЕТРОЛОГИЯ**

- Третьяк Л.Н., Лабутина С.А.  
Совершенствование процесса поверки.....116



## Закону «О стандартизации в Российской Федерации» – 10 лет

В этом году система Росстандарта отмечает 100-летний юбилей, а также еще одну знаменательную дату — исполняется 10 лет Федеральному закону № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Хочется вспомнить историю создания этого закона, этапы его реализации и, конечно, имена тех, кто стоял у его истоков. Не буду описывать период советской стандартизации, так как на эту тему существует много публикаций. Только отмечу, что, по оценкам международных экспертов, советская система стандартизации признана лучшей в мире и стала основой создания международной системы стандартизации ИСО.

Важным этапом реформирования российской системы стандартизации стало принятие в 2002 г. Федерального закона № 184-ФЗ «О техническом регулировании», отменившего действие Закона Российской Федерации «О стандартизации» и коренным образом изменившего роль государственных стандартов в жизни страны. С принятием Закона «О техническом регулировании» была сужена сфера работ по стандартизации, стандарты рассматривались исключительно как основа для разработки технических регламентов и в качестве документов добровольного применения, способствующих исполнению принятых технических регламентов. Эти новеллы привели к разрушению российской системы стандартизации, ликвидации отраслевых институтов стандартизации и потере кадров. Несмотря на неоднократные обращения крупнейших объединений промышленности (РСПП, ТПП РФ и ряда других), потребовалось 13 лет и поручение Президента Российской Федерации для разработки нового закона.

Сегодня хочется вспомнить тех, кто участвовал в формировании методологии новой российской системы стандартизации, реализованной в Федеральном законе «О стандартизации в Российской Федерации» и принятых в его развитие документах (постановлениях Правительства Российской Федерации, приказах ФОИВ, основополагающих стандартах). Работа велась силами рабочей группы, сформированной и осуществлявшей деятельность под руководством председателя Росстандарта Г.И. Элькина. Хочется вспомнить ее участников поименно, чтобы никого не обидеть, их фамилии будут приведены в алфавитном порядке: И.З. Аронов, А.С. Бубнов, Ж.Н. Буденная, В.Г. Версан, Г.П. Воронин, Г.И. Грозовский, А.В. Зажигалкин, В.Н. Ключников, А.Н. Лоцманов, В.В. Окрепилов, Г.В. Панкина, Е.Р. Петросян, С.В. Пугачев, М.Л. Рахманов, В.М. Самков, И.И. Чайка. И это далеко не полный список экспертов. Рабочая группа собиралась еженедельно и проводила мозговые штурмы по отдельным аспектам законопроекта. Кроме того, в подготовке к принятию Закона большой пласт работы проведен сотрудниками Администрации Президента Российской Федерации, Аппарата Правительства Российской Федерации и Минпромторга России – и вот их имена: И.В. Боровков, Л.И. Брычева, Н.И. Карпова, Г.А. Климович, Т.В. Крамкова, К.В. Леонидов, Г.С. Никитин, Г.Н. Палагин. Отдельную благодарность хочется выразить Департаменту государственной политики в области технического регулирования и обеспечения единства измерений Минпромторга России за титаническую работу по законопроекту и по разработке документов, обеспечивших возможность реализации закона.

Теперь, по прошествии 10 лет, хочется отметить, что Федеральный закон «О стандартизации в Российской Федерации» воплотил в себе лучшее, что было в советской системе стандартизации, а также реализовал лучшие мировые практики в сфере стандартизации. Закон восстановил сферу стандартизации, выделил в самостоятельные сферы стандартизацию в отношении оборонной продукции, в сфере продукции, сведения о которой составляют государственную тайну, а также связанной с обеспечением безопасности использования атомной энергии. Качество проработки идеологии показывает, что за прошедший период существенные изменения в закон не вносились. Этого удалось достичь благодаря активному участию промышленности на всех этапах законопроектной деятельности и в работе по разработке нормативных правовых актов.

Подводя итоги 10-летней жизни, очевидно, что сегодня национальные стандарты все активнее используются в нормативном правовом регулировании, при проведении государственных закупок. В документах стратегического планирования возникают специальные разделы, связанные с разработкой национальных стандартов. Ежегодно увеличивается количество утверждаемых национальных стандартов. Хозяйствующие субъекты, в том числе государственные корпорации, министерства и ведомства, активно участвуют в работах по стандартизации. По информации Росстандарта, сегодня более половины разрабатываемых стандартов финансируются из внебюджетных источников, это способствует развитию работ по стандартизации. Сейчас практически все сферы жизни охватываются национальными стандартами, что вызвало приток молодых специалистов в сферу стандартизации. И сегодня хочется пожелать сохранения набранного темпа и продолжения развития этой очень важной деятельности!

# К юбилею принятия Федерального закона «О стандартизации в Российской Федерации»



**Д.Е. Миронов,**

генеральный директор  
ФГБУ «Институт стандартизации»

**Аннотация.** Статья посвящена краткому анализу результатов принятия Федерального закона «О стандартизации в Российской Федерации» спустя 10 лет. Рассмотрены основные реализованные новеллы законодательства, в том числе в части ссылок на стандарты в нормативных правовых актах, современного состояния сферы национальной системы стандартизации и перспектив ее развития.

**Ключевые слова:** стандартизация, стандарт, федеральный закон, новеллы законодательства, ссылки на стандарты, технические условия.

**Summary.** The article is devoted to a brief analysis of the results of the adoption of the Federal Law «On Standardization in the Russian Federation» after 10 years. The main implemented legislative innovations are considered, including in terms of references to standards in regulatory legal acts, the current state of the national standardization system and the prospects for its development.

**Keywords:** standardization, standard, federal law, legislative innovations, references to standards, technical conditions.

В 2025 г. исполняется 10 лет со дня принятия Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Закон сыграл важнейшую роль в развитии национальной системы стандартизации, которая из утилитарного инструмента, обслуживающего технические регламенты, превратилась в эффективный инструмент экономики страны. Вместо маленькой дудочки страна получила огромный оркестр, который играет современную музыку стандартизации!

Отмечу несколько важных событий, которые предшествовали разработке и принятию этого закона. В 2011 г. специалисты ВНИИНМАШ, одного из институтов, включенных в современный Институт стандартизации, в инициативном порядке разработали проект федерального закона «О стандартизации...», который был направлен на общественное обсуждение. Но, видимо, еще не пришло время, и поэтому проект не нашел поддержки в среде экспертов, у органов власти, общественных организаций и др. Основное возражение, которое высказывалось оппонентами, состояло в том, что при необходимости можно внести изменения в Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» и это позволит развить национальную систему стандартизации.

Стало понятно, что необходима значительная разъяснительная работа на всех уровнях управления. В частности, институтом ВНИИС была выполнена важная научно-исследовательская работа, в которой с использованием эконометрической модели, примененной ранее немецким институтом стандартизации -- DIN и французским институтом стандартизации -- AFNOR, было показано, что вклад стандартов в национальную экономику страны эквивалентен 0,9% ВВП (то есть на мировом уровне).

В этот же период в журнале «Стандарты и качество» была опубликована программная статья «Стандартизация: по закону или по понятиям», в которой авторы справедливо отмечали: «Кучные» нормы Федерального закона «О техническом регулировании», относящиеся к стандартизации, породили соответствующее отношение в обществе и государстве к этой деятельности. Произошла



странная аберрация: на стандартизацию стали смотреть как «служанку» технических регламентов и только» [1]. В статье обосновывалась необходимость разработки отдельного специального закона «О стандартизации...», который рассматривался авторами как важная составная часть промышленной политики, связанной с развитием реального сектора экономики.

Существенную роль в разработке закона сыграла четкая поддержка Российского союза промышленников и предпринимателей (РСПП), в частности Д.А. Пумпянского, члена Бюро Правления РСПП, и А.Н. Лоцманова, заместителя сопредседателя Комитета РСПП по промышленной политике и техническому регулированию.

Проект федерального закона обсуждался на многих площадках заинтересованных сторон, было высказано большое число мнений и конкретных предложений, большинство из которых были воплощены в нормы закона.

Одновременно с законопроектом разрабатывались предложения по внесению изменений в смежное законодательство, в частности в Федеральный закон «О техническом регулировании», с тем, чтобы исключить нормы закона, относящиеся к стандартизации, которые лишь по касательной затрагивали эту деятельность, и при этом не нарушить положения, относящиеся к разработке технических регламентов.

В результате совместной работы Минпромторга России, Росстандарта, РСПП, институтов Росстандарта, экспертов Федеральный закон «О стандартизации в Российской Федерации» был подписан Президентом РФ 29 июня 2015 г.

Фактически началась новая эра национальной стандартизации! Сравнивая ФЗ «О техническом регулировании» и ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации», хотелось бы отметить одну принципиальную разницу между ними: первый отчетливо носит идеологический характер, поскольку впервые вводит целый нормативный «пласт», относящийся к техническому регулированию, техническим регламентам и т.п., второй является более функциональным, распределяя функционал между основными участниками работ по стандартизации – конкретными акторами.

У каждого эксперта, каждого специалиста-стандартизатора имеется свой взгляд на те нормы закона, которые ему кажутся наиболее важными и существенными. Для меня, как директора Института стандартизации, самыми важными нормами закона являются те, которые определяют:

- политику в области стандартизации (ст. 8 и 9);
- деятельность технических комитетов по стандартизации (ст. 11);

- порядок разработки и утверждения национальных стандартов и предварительных национальных стандартов (ст. 24 и 25);

- информационное обеспечение национальной системы стандартизации (ст. 28);

- порядок формирования и ведения федерального информационного фонда стандартов, оператором которого является Российский институт стандартизации (ст. 29);

- порядок распространения документов национальной системы стандартизации (ст. 30), который недавно был прокомментирован в работе [2].

Новый закон признал стандарты организации, в том числе технические условия, документами по стандартизации, что позволило шире внедрять методы стандартизации в организациях, прежде всего производственного сектора экономики.

Но среди этих новелл не могу не отметить норму ст. 27, которая впервые ввела механизм ссылок на национальные стандарты и информационно-технические справочники в нормативных правовых актах Российской Федерации (НПА). Еще на стадии законопроекта она вызывала большие споры в среде юристов. Понадобилась большая разъяснительная работа для того, чтобы убедить скептиков в непротиворечивости предложенной в законе юридической конструкции «обязательные требования нормативного правового акта – добровольные положения национального стандарта». Отдельные комментарии по этому вопросу приведены в статье [3], в которой, в частности, отмечалось, что международные организации по стандартизации рекомендовали правительствам стран шире использовать метод ссылки на стандарты в нормотворческой деятельности, поскольку этот прием ускоряет и упрощает процесс разработки НПА, исключая при этом необходимость периодического внесения в них изменений, обусловленных развитием науки и техники.

Принципиально важно, что одновременно с ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации» вступил в действие Федеральный закон от 5 апреля 2016 г. № 104-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам стандартизации». В нем, например, содержались существенные изменения статьи 4 Федерального закона от 18 июля 2011 г. № 223-ФЗ «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц» и ст. 33 Федерального закона от 5 апреля 2013 г. № 44-ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд». Это позволило использовать положения национальных стандартов для описания объектов закупок для нужд государства, что значительно

упорядочило и упростило этот процесс. Фактически этот подход совместно с механизмом ссылок на стандарты в НПА обеспечивает применение консенсусных добровольных стандартов в регулировании рынка.

В итоге, ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации» дал мощный толчок для развития Национальной системы стандартизации. Достаточно сказать, что более 50% стандартов из 1776 стандартов, принятых в 2024 г., было разработано по инициативе бизнеса, более 400 нормативных актов с 2016 г. содержат ссылки на стандарты, разработка стандартов активно включается в мероприятия документов стратегического планирования, что свидетельствует о регуляторных возможностях документов по стандартизации.

Закон живет, в него вносятся важные корректировки, которые учитывают новые обстоятельства, новые задачи экономики. Так, например, в целях развития инновационных процессов в стране были внесены изменения, установленные Федеральным законом от 30 декабря 2020 г. № 523-ФЗ:

– в число документов по стандартизации вошли технические спецификации (отчеты);

– расширен корпус задач стандартизации, направленных на развитие информационных технологий и «достижение и поддержание технологического лидерства Российской Федерации в высокотехнологичных (инновационных) секторах экономики»;

– уточнено современное содержание информационного обеспечения национальной системы стандартизации.

Сегодня в экспертном сообществе активно обсуждаются новые направления совершенствования законодательства в сфере стандартизации в части стандартов организаций, в том числе технических условий. Речь идет о том, что при публичном заявлении производителя о том, что продукция соответствует стандарту организации, в том числе техническим условиям, сведения об этих документах должны регистрироваться в Федеральном информационном фонде стандартов. Фактически прорабатываемые изменения направлены на повышение качества продукции, производимой по стандартам организаций, в том числе техническим услови-

ям. В 2025 г. законопроект прошел первое чтение в Государственной думе, сейчас осуществляется его подготовка ко второму чтению.

С развитием цифровизации и сферы ИТ необходимо рассмотреть возможность дальнейшего нормативного закрепления такого понятия, как «цифровой стандарт» – новый формат документа, необходимый для интеграции стандартизации в современное производство и цифровые экосистемы.

Подводя итог, отмечу, что благодаря Федеральному закону «О стандартизации в Российской Федерации» Национальная система стандартизации выполняет роль важнейшего, а в ряде случаев системообразующего элемента инфраструктуры для развития инновационных процессов в стране, создания условий для технологического лидерства, цифровой трансформации экономики, поддержания обороноспособности страны, развития реального сектора экономики.

### Источники

1. Аронов И.З., Версан В.Г., Чайка И.И. Стандартизация: по закону или по понятиям // Стандарты и качество. 2012. № 10.

2. Миронов Д.Е., Аронов И.З., Рыбакова А.М. Процедуры распространения стандартов в странах СНГ // Стандарты и качество. 2024. № 10. С. 44–48.

3. Аронов И.З., Зажигалкин А.В. Ссылка на стандарты в нормативных правовых актах: возможно ли это? // Стандарты и качество. 2013. № 10. С. 44–50.

### References:

1. Aronov I.Z., Versan V.G., Chaika I.I. Standardization: by law or by concepts // Standards and quality. 2012. No. 10.

2. Mironov D.E., Aronov I.Z., Rybakova A.M. Procedures for disseminating standards in the CIS countries // Standards and quality. 2024. No. 10. P. 44–48.

3. Aronov I.Z., Zazhigalkin A.V. Reference to standards in regulatory legal acts: is it possible? // Standards and quality. 2013. No. 10. P. 44–50.



# Анализ причин возникновения лесных пожаров и качественные методы борьбы с ними

## Б.В. Бойцов

д-р техн. наук, профессор,  
Заслуженный деятель науки РФ; Москва

## А.И. Ресинец

канд. воен. наук, профессор  
Академии военных наук; Москва  
e-mail: mx5500@mail.ru

## А.А. Ресинец

Начальник отдела  
АО «НЦВ Миль и Камов»; г. Люберцы

**Аннотация.** В статье основное внимание уделено анализу причин возникновения лесных пожаров. Приведена статистика природных пожаров и распределение причин возникновения лесных пожаров по количеству случаев.

Показано, что тушение пожаров в труднодоступных районах является очень непростой задачей и посилено только авиации (самолетам, вертолетам и беспилотным летательным аппаратам).

**Ключевые слова:** пожарный самолет, пожарный вертолет, беспилотный летательный аппарат.

**Summary.** The article focuses on the analysis of the causes of forest fires. The statistics of natural fires and the distribution of causes of forest fires by the number of cases are given.

It is shown that extinguishing fires in hard-to-reach areas is a very difficult task and is only possible for aviation (airplanes, helicopters and unmanned aerial vehicles).

**Keywords:** firefighting aircraft, firefighting helicopter, unmanned aerial vehicle.

Причины возникновения пожаров – неосторожное обращение с огнем, нарушение правил пожарной безопасности, неправильные действия во время возгорания, что способствует быстрому

распространению пламени, и многое другое. Чтобы избежать неконтролируемого горения, необходимо знать, что может стать причиной пожара.

Ежегодно в мире горят леса. Возгорание в лесу и степи относится к стихийным бедствиям. Пламя распространяется быстро, уничтожая на пути кустарники, траву, деревья и лесных жителей. Их виновником чаще всего бывает человек. Возможные причины пожаров – курение в жаркую и сухую погоду, подпал человеком травы, разжигание костров на отдыхе. Иногда пожар возникает в грозу.

Основным виновником лесных пожаров является человеческий фактор. Статистика природных пожаров последних недель показывает, что их всплеск наблюдается в выходные дни, когда люди массово направляются отдыхать на природу. В зависимости от того, в каких частях леса распространяется огонь, лесные пожары принято подразделять на низовые (составляют 95–97% от общего количества), верховые (1–5%) и почвенные (примерно 1%) [1]. В свою очередь низовые и верховые пожары могут быть устойчивыми и беглыми [2].

Большинство пожаров возникает в результате сельскохозяйственных палов, сжигания мусора, в местах пикников, сбора грибов и ягод, во время охоты, от брошенной горящей спички, непотушенной сигареты и т.д.

В качестве примера на *рис. 1* показаны основные причины возникновения лесных пожаров на территории Дальневосточного региона, которыми являются (*см. рис. 1*):

- антропогенный (человеческий) фактор – 52,6% от общего количества пожаров;
- переход пожаров с иных категорий земель – 22,3%;
- возгорание от воздействия гроз – 12,3%;
- выжигание травяного покрова и переход с линейных объектов – 6,5% и 6,2%.

Для сравнения, на диаграмме также приведены причины возникновения пожаров на землях особо охраняемых природных территорий (ООПТ), где основными причинами пожаров являются грозы (53,8% от общего количества пожаров) и переход пожаров с иных категорий земель (23,1%) [3].

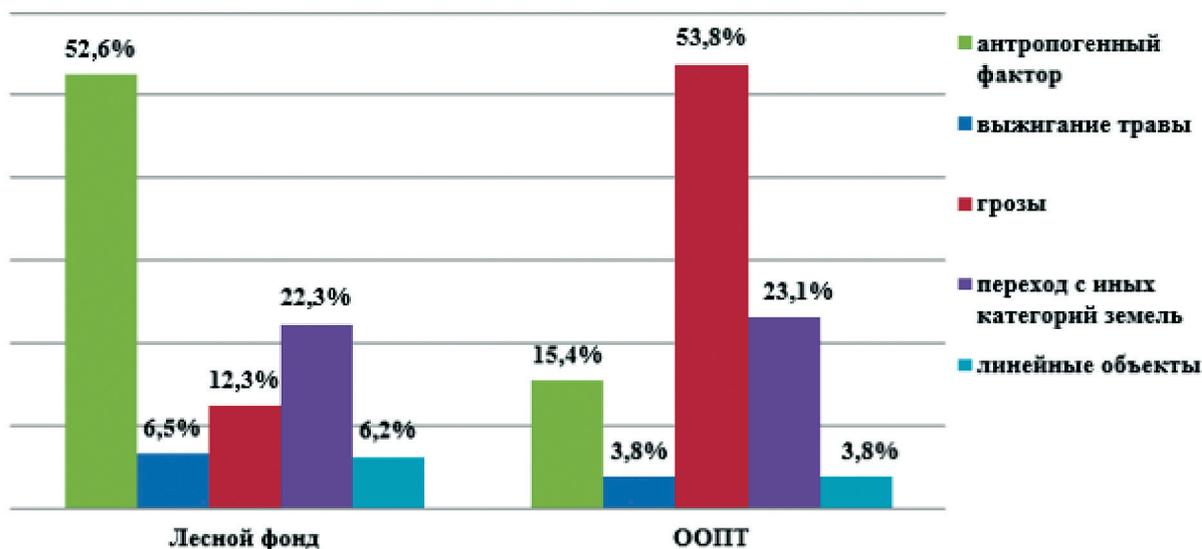


Рисунок 1. Распределение причин возникновения лесных пожаров по количеству случаев

В лесных массивах наиболее часто возникают низовые пожары, выжигающие лесную подстилку, подрост и подлесок, травянисто-кустарничковый покров, валежник, корневища деревьев и т.п. В засушливый период при ветре представляют опасность верховые пожары, при которых огонь распространяется также и по кронам деревьев, преимущественно хвойных пород. Скорость низового пожара – от 0,1 до 3 м/мин., верхового – до 100 м/мин по направлению ветра.

При горении торфа и корней растений существует угроза возникновения подземных пожаров, распространяющихся в разные стороны. Способность торфа самовозгораться и гореть без доступа воздуха и даже под водой представляет большую опасность. Над горящими торфяниками возможно образование «столбчатых завихрений» горячей золы и горячей торфяной пыли, которые при сильном ветре переносятся на большие расстояния и вызывают новые загорания.

По принятой в России системе оперативной информации о лесных пожарах для регионов Севера, Сибири и Дальнего Востока крупными считаются пожары, площадь которых превысила 200 га, а для остальных регионов – 25 га. В зависимости от условий возникновения, распространения и развития крупных лесных пожаров их последствий (пройденная огнем площадь и число людей, необходимых для локализации пожара) выделяют шесть классов: А – загорание (менее 0,2 га) – пожар, который может быть остановлен и потушен одним человеком; Б – малый пожар (от 0,2 до 2 га) – пожар, который может быть остановлен звеном численностью 2–4 человека; В – небольшой пожар (от 2,1 до 20 га) – пожар, который может быть остановлен бригадой численностью до 10 человек; Г – средний пожар (от

21 до 200 га) – пожар, который может быть остановлен специальной ударной группой численностью 30–40 человек; Д – крупный пожар (от 201 до 2000 га) – пожар, который может быть остановлен ударной группой численностью около 100 человек; Е – катастрофический пожар (более 2000 га) – пожар, который может быть остановлен ударной группой численностью около 400 человек.

Лесные пожары во многих странах являются довольно привычным явлением. Из-за глобальных климатических изменений количество лесных пожаров со временем только возрастает, и бороться с ними можно во многих местах только с помощью авиации.

Применение пожарной авиации при тушении лесных пожаров, особенно в труднодоступных районах, является иногда единственным способом потушить эти пожары. Самолеты и вертолеты помогают сократить площадь горения, предотвратить распространение огня на населенные пункты. Очаги природных пожаров могут находиться на расстоянии сотен километров от ближайшей пожарной части. В такой ситуации использование авиации (самолетов и вертолетов) и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) является единственным возможным вариантом эффективной борьбы с огнем [4].

Классификация пожарных ЛА в разных странах разная, она основывается на количестве берущейся на борт воды, в США принята такая: тип 4 – до 600 галлонов (2250 л), тип 3 – до 1800 галлонов (6800 л), тип 2 – до 3000 галлонов (11 350 л), тип 1 – до 11 000 галлонов (41 700 л). В последнее время появились еще так называемые VLAT (Very Large Air Tanker), выходящие за верхнюю границу типа 1. В мире таких машин всего три – два DC-10 и один B-747-100,



принадлежащие, как и следовало предполагать, американским компаниям.

Пожары легче не допускать, чем тушить, но уж если тушить, то в самом начале возгорания. В этом случае беспилотные летательные аппараты (БПЛА) незаменимы.

БПЛА базы современных мультироторных систем и специализированного программного обеспечения предназначены для выполнения следующих задач:

- оперативный поиск и локализация очагов возгорания при помощи тепловизора;
- контроль обстановки и координация действий пожарных расчетов;
- патрулирование лесов с целью профилактики возникновения пожаров и дальнейшего распространения огня, если пожар уже начался;
- планирование безопасных маршрутов для перемещения пожарных и спасательных расчетов;
- поиск и спасение, координация действий, направленных на помощь пострадавшим [5].

Пожарный квадрокоптер помогает спасать жизни, минимизирует риски для сотрудников экстренных служб и общие расходы на проведение поисково-спасательных и противопожарных мероприятий.

При ликвидации пожаров критически важно оценивать общую обстановку, в этом случае квадрокоптер может стать лучшим, а иногда – единственным способом изучить весь район пожара и прилегающие территории для планирования работы экстренных служб.

Обнаружить очаг возгорания на самых ранних стадиях позволит тепловизор, даже когда пламя невозможно увидеть невооруженным глазом. Оборудование для термальной съемки, установленное на дрон, позволит детально рассмотреть объект возгорания и приступить к ликвидации.

Когда счет идет на секунды – промедления недопустимы! В этом отношении преимущества современных дронов перед пилотируемым самолетом или вертолетом неоспоримы. Ведь для взлета подойдет любая площадка, а предполетная подготовка оператором займет всего лишь несколько минут.

Проведенный анализ показал, что в качестве наиболее эффективного средства при поиске и обнаружении очагов пожаров лучше использовать БПЛА, а при тушении очагов пожаров большой площади необходимо использовать пожарные самолеты и вертолеты.

**Пожарный самолет (вертолет)** – самолет (вертолет) для выполнения задач, решаемых специализированными пожарными службами [6].

**В качестве пожарных используются самолеты типа:**

- **ИЛ-76 ДТ** – позволяет за один вылет доставить до 42 т огнетушащей жидкости;
- **БЕ-2** – максимальная загрузка – 12 т. Может самостоятельно заправить пожарные отсеки при воднением на достаточный по площади водоем;
- **Ан-32п** – позволяет за один вылет сбросить 8 т воды или огнегасящей жидкости;
- **Ан-74п** – универсальный транспортный самолет.

Несмотря на то что эксплуатация вертолетов в борьбе с огнем обходится дороже, чем самолета, тем не менее они нашли широкое применение ввиду более прицельного сброса груза и возможности забора воды из ограниченных по размерам водоемов. Существует два типа пожарных вертолетов. В первом случае баки для воды устанавливаются внутри вертолета, заполняются они или на земле, или с помощью бортового насоса при висении. Во втором – вода переносится на внешней подвеске в специальной корзине типа «водосливное устройство» (ВСУ). Работа с корзиной требует от пилотов большего опыта и внимания, но зато позволяет более гибко использовать вертолет.

**В качестве пожарных используются вертолеты типа:**

- **КА-32А1** – имеет уникальные показатели маневренности и способен полностью заправиться огнетушащей жидкостью менее чем за 1 мин.;
- **МИ-8 ЛТ** – вертолет может за один вылет доставить к очагу пожара до 4 т воды;
- **МИ-26 ТП** – является одним из самых больших пожарных вертолетов в России. За один вылет винтокрылая машина может доставить до 15 т огнетушащей жидкости к месту возгорания.

**Беспилотные летательные аппараты:**

- **квадрокоптер DJI Mavic 3 Thermal** с тепловизором;
- **DJI Matrice 300 RTK** с подвесом Zenmuse H20T, оснащенным гибридной камерой и тепловизором;

**DJI FlightHub 2** – программное обеспечение для управления парком дронов, планирования и координации задач.

**Самолет Ил-76 ДТ** – самый известный российский пожарный самолет, спроектирован в 1988 г. Первый выливной авиационный прибор состоял из двух стальных резервуаров цилиндрической формы. Каждый вмещал 16 тыс. л. Благодаря успешному испытанию опытного образца было принято решение увеличить емкость. Сейчас самолет способен перевозить 42 т воды или огнегасящей жидкости и сбрасывает ее за 4 с (рис. 2).

**Самолет Бе 200** (рис. 3) – наиболее совершенный самолет-амфибия. Создан Таганрогским авиационным научно-техническим комплексом



Рисунок 2. Сброс воды самолетом Ил-76



Рисунок 3. Пожарный самолет Бе 200

имени Г.М. Бериева. Благодаря техническим характеристикам он способен приземляться на воду. За 12 с на скорости 150 км/ч заполняет баки в режиме глиссирования. Для забора воды подходят водоемы длиной не менее 2300 м, глубиной от 2,5 м. Высота волны не должна превышать 1,3 м. Двигатели установлены над корневой частью крыла, что гарантирует их защиту от проникновения воды [7].

Самолет амфибия для тушения пожаров представляет собой моноплан с высокорасположенным стреловидным крылом, Т-образным хвостовым оперением и лодкой с переменной поперечной килеватостью. Конструкция позволяет дорабатывать модель в зависимости от требований заказчика. При необходимости самолет можно переоборудовать и применять для перевозки спасателей, грузов, патрулирования территорий и выполнения других задач.

**Самолет Ан-32п** (рис. 4) разработан на базе многоцелевого самолета Ан-32. Применяется для

тушения лесных пожаров, десантирования спасателей, доставки грузов и колесной техники. Может эксплуатироваться во время сложных погодных условий, на высокогорных аэродромах, способен совершать полеты с крутыми траекториями.

Конструкция шасси позволяет совершать посадку на грунтовые площадки. Самолет оснащен двумя баками, каждый вмещает 4 т воды. Отличается точностью сброса огнегасящей жидкости – до 10 м.

**Самолет-амфибия CL-415** (рис. 5) разработан специально для тушения пожаров с воздуха. Представляет собой усовершенствованную модель самолета CL-215, который совершил первый полет в 1993 г. В конце следующего года от властей Канады и США пожарный самолет получил сертификаты. От предшественника CL-415 отличается рабочим весом и скоростью. Набирает до 6140 л воды из ближайшего источника, при необходимости смешивает ее с огнетушащим порошком и сбрасывает в огонь.

Взлетает как с земли, так и с водной поверхности, привлекается к работе в странах, где леса расположены на холмах недалеко от водоемов. Самолет может быть легко переоборудован в транспортный, тогда он способен перевозить до 30 человек.

В противопожарном исполнении вмещает 11 пассажиров, кресла ставятся перед и за баками.

**Самолет Ан-74п** (рис. 6) – универсальный транспортный самолет. Максимальный вес перевозимого груза – до 7500 кг. Объем грузового отсека – 33 м<sup>3</sup>. Максимальная дальность полета – 3800 км. Количество пассажиров – 10 человек. Крейсерская скорость – 600 км/ч

Применяется для доставки к месту происшествия специалистов и средств, необходимых для проведения поисковых и спасательных работ. Может применяться для перевозки людей, транспортировки грузов, способен совершать полеты в любое время дня несмотря на погодные условия. В режиме автопилота способен приземлиться при метеоминимуме [8].

**Самолет Evergreen 747 SuperTanker** (рис. 7) – крупнейший противопожарный самолет. Вмещает 72 200 л воды. Максимальная скорость – 970 км/ч. Помимо огромных размеров модель отличается



Рисунок 4. Самолет Ан-32п



Рисунок 5. Самолет Bombardier (Canadairs CL-415)



Рисунок 6. Самолет Ан 74п [3]



Рисунок 7. Самый большой пожарный самолет в мире Evergreen 747 SuperTanker

способом тушения пламени, вода не сбрасывается, а распыляется, что позволяет уберечь объекты от повреждения.

На заправку гиганта требуется 30 мин., один день эксплуатации стоит около 120 тыс. долл. Такие затраты были признаны нецелесообразными, поэтому несмотря на свою мощь, самолет редко привлекают к работе. Он тушил огонь в Испании, Израиле, Чили. В Америке его впервые применили в 2009 г.

**Квадрокоптер DJI Mavic 3 Thermal** с тепловизором (рис. 8). Самый простой в освоении, надежный и доступный квадрокоптер для пожарных, способный летать на расстояние до 32 км и находиться в воздухе до 45 мин.

В корпусе на трехосевом гиросtabilизированном подвесе размещаются тепловизор с разрешением 640 × 512 пикселей, 48-Мп широкоугольная и 12-Мп телекамеры. Тепловизионная камера Mavic 3T имеет разрешение 640 × 512 и поддерживает измерение температуры в точках и зонах, оповещения о высокой температуре, цветовые палитры и изотермы, которые помогут находить цели и принимать быстрые решения.



Рисунок 8. Квадрокоптер с тепловизором DJI Mavic 3 Thermal

Улучшенная широкоугольная камера с матрицей 1/2» CMOS способна снимать 48-Мп фото и видео в разрешении 4К.

12-Мп телекамера имеет 56-кратный гибридный зум с 8-кратным увеличением без потери качества. Это позволит рассмотреть мельчайшие детали, обнаружить первые признаки и очаги возгорания, источники задымления в тот момент, когда пожар еще находится на начальной стадии и пока не требуются значительные усилия для тушения.

Во время экстренных операций особое внимание должно быть уделено коммуникации. Громкий динамик, установленный на коптер DJI Mavic 3T,

позволяет передавать голосовые команды, координировать в реальном времени работу пожарных расчетов и эвакуацию пострадавших. Также для выполнения различных задач Mavic 3 Thermal может оснащаться дополнительными аксессуарами.

DJI Matrice 300 RTK с подвесом Zenmuse H20T, оснащенный гибридной камерой и тепловизором (рис. 9).

Комплекс с гибкими возможностями для противопожарного мониторинга, патрулирования, поиска источников возгорания и координации тушения.

Комплексное решение для пожарных на базе полетной платформы Matrice 300 RTK и подвеса Zenmuse H20T. Время полета – до 43 мин., имеет тепловизор, широкоугольную камеру и камеру с оптическим зумом. Для патрулирования, координации поисково-спасательных операций, поиска возгораний и обнаружения поджигателей.

DJI FlightHub 2 – программное обеспечение для управления парком дронов, планирования и координации задач.

Программное обеспечение DJI FlightHub для организаций с большим парком мультикоптеров



Рисунок 9. DJI Matrice 300 RTK с подвесом Zenmuse H20T



или полетных платформ производства DJI. Позволяет планировать задачи, контролировать работу сотрудников, управлять устройствами, получать данные с БПЛА и отправлять их в облачное хранилище. Три типа лицензии.

Некоторые из функций программы:

- координация действий нескольких операторов и экипажей в реальном времени;
- планирование заданий;
- прямая трансляция видео в оперативный штаб;
- получение и анализ данных о техническом состоянии оборудования;
- сбор и архивирование данных на облачном хранилище.

Проведенный анализ причин возникновения лесных пожаров позволяет сделать следующие выводы [9].

1. Наблюдение и контроль за предпожарной обстановкой в лесном фонде должны вестись БПЛА на протяжении всего пожароопасного сезона
2. При ликвидации множественных возгораний класса В и Г необходимо использовать вертолеты.
3. При ликвидации крупных очагов пожаров класса Д и Е необходимо применять самолеты.

### Источники

1. Классификация лесных пожаров [Электронный ресурс]. URL: <https://xn--b1ae4ad.xn--p1ai/enc/klassifikatsiya-lesnykh-pozharov>
2. Михайлова В. Лесные пожары: причины, виды, правила безопасности [Электронный ресурс]. Сохрани лес. 2024. 22 февраля. URL: <https://forest-save.ru/esg-blog/lesnyie-pozharyi>
3. Анализ причин возникновения лесных пожаров на территории Дальневосточного федерального округа [Электронный ресурс]. Департамент лесного хозяйства по ДФО. URL: <https://rosleshoz.gov.ru/news/dfo/analiz-prichin-vozniknoveniya-lesnykh-pozharov-na-territorii-dalnevostochnogo-federalnogo-okruga-dfo-22041/>
4. Виды авиационной пожарной техники [Электронный ресурс]. МонтажГрад. URL: <https://www.montajgrad.ru/publications/vidy-aviatsionnoy-pozharnoy-tekhniki/>
5. БПЛА для пожарных и спасателей [Электронный ресурс]. BRLab. <https://brlab.ru/scopes/bpla-dlya-pozharnykh-i-spasateley/>
6. ГОСТ 12.2.047–86. Система стандартов безопасности труда. Пожарная техника. Термины и определения [Электронный ресурс]. Портал про пожарную безопасность. URL: <https://propb.ru/library/wiki/pozharnyy-samolet/>

7. Пожарные самолеты и авиация МЧС России [Электронный ресурс]. ТОП-Трейд. URL: <https://www.tt-snab.ru/stati/pozharnye-samolety-i-aviatsiya-mchs-rossii/#3>

8. Аренда и услуги самолета Ан-74П [Электронный ресурс]. МОСАВИАСЕРВИС. URL: <https://mosaviaservice.ru/aviapark/uslugi-samoleta-an-74p/>

9. ГОСТ Р 22.1.09-99. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования. М.: Госстандарт России, 1999.

### References

1. Classification of forest fires [Electronic resource]. URL: <https://xn--b1ae4ad.xn--p1ai/enc/klassifikatsiya-lesnykh-pozharov>
2. Mikhailova V. Forest fires: causes, types, safety rules [Electronic resource]. Save the forest. 2024. February 22. URL: <https://forest-save.ru/esg-blog/lesnyie-pozharyi>
3. Analysis of the causes of forest fires in the Far Eastern Federal District [Electronic resource]. Department of Forestry for the Far Eastern Federal District. URL: <https://rosleshoz.gov.ru/news/dfo/analiz-prichin-vozniknoveniya-lesnykh-pozharov-na-territorii-dalnevostochnogo-federalnogo-okruga-dfo-22041/>
4. Types of aerial fire-fighting equipment [Electronic resource]. MontazhGrad. URL: <https://www.montajgrad.ru/publications/vidy-aviatsionnoy-pozharnoy-tekhniki/>
5. UAVs for firefighters and rescuers [Electronic resource]. BRLab. <https://brlab.ru/scopes/bpla-dlya-pozharnykh-i-spasateley/>
6. GOST 12.2.047–86. Occupational safety standards system. Fire-fighting equipment. Terms and definitions [Electronic resource]. Portal about fire safety. URL: <https://propb.ru/library/wiki/pozharnyy-samolet/>
7. Fire-fighting aircraft and aviation of the Russian Emergencies Ministry [Electronic resource]. TOP-Trade. URL: <https://www.tt-snab.ru/stati/pozharnye-samolety-i-aviatsiya-mchs-rossii/#3>
8. Rent and services of the An-74P aircraft [Electronic resource]. MOSAVIASERVIS. URL: <https://mosaviaservice.ru/aviapark/uslugi-samoleta-an-74p/>
9. GOST R 22.1.09-99. Safety in emergency situations. Monitoring and forecasting forest fires. General requirements. Moscow: Gosstandart of Russia, 1999.



# Применение наземно-бортовых средств контроля технического состояния авиационной техники и современные тенденции их развития

## Б.В. Бойцов

*д-р техн. наук, профессор,  
Заслуженный деятель науки РФ; Москва*

## А.И. Ресинец

*канд. воен. наук, профессор  
Академии военных наук; Москва  
e-mail: mx5500@mail.ru*

## А.А. Ресинец

*Начальник отдела  
АО «НЦВ Миль и Камов»; г. Люберцы*

## А.В. Школа,

*студент 6-го курса кафедры  
«Проектирование вертолетов»  
Московского авиационного института  
(НИУ); Москва*

**Аннотация.** В данной статье приведена классификация бортовых средств контроля, решаемые задачи, состав, определение, принципы работы, применение, а также современные тенденции их развития.

**Ключевые слова:** воздушное судно, наземно-бортовые средства контроля, средства объективного контроля, объективный контроль, вертолет, летательный аппарат.

**Summary.** This article provides a classification of on-board control equipment, tasks to be solved, composition, definition, operating principles, application, as well as modern trends in their development.

**Keywords:** aircraft, ground-on-board control equipment, objective control equipment, objective control, helicopter, aircraft.

Бортовые средства объективного контроля (БСОК) представляют собой важную составляющую современных технических систем, обеспечивающих мониторинг и анализ параметров работы различных объектов. Эти системы находят широкое применение в транспорте, промышленности, авиации и других сферах, способствуя повышению безопасности, надежности и эффективности эксплуатации оборудования.

Бортовые средства объективного контроля – это система объективного контроля (СОК), включающая комплекс технических средств, установленных на объекте мониторинга (автомобиле, самолете, промышленном оборудовании и др.), предназначенных для автоматизированного сбора, обработки и анализа информации о его состоянии, параметрах работы и окружающей среде.

Принцип работы БСОК заключается в использовании датчиков, сенсоров и специализированных записывающих устройств, фиксирующих ключевые параметры. Собранные данные передаются в центральную систему управления, где они обрабатываются, анализируются и используются для диагностики, предиктивного обслуживания и принятия решений [1].

Идея объективного контроля возникла в середине XX в., когда в авиации стали применять системы регистрации параметров полета для повышения безопасности.

С развитием технологий такие системы стали использоваться не только в авиации, но и в других сферах: автомобильной, промышленной и даже медицинской. Постепенно совершенствовались методы записи и хранения данных, а также алгоритмы их обработки. Сегодня современные средства объективного контроля обладают возможностями анализа в реальном времени, интеграции с цифровыми платформами и искусственным интеллектом.

В данной статье рассматривается применение наземно-бортовых средств (НБСК) в авиации, так как они играют ключевую роль в обеспечении безопасности полетов. Они регистрируют параметры работы двигателей, навигационных систем и дру-



гих критически важных элементов, позволяя анализировать причины авиационных происшествий и повышать надежность полетов.

### Наземно-бортовые средства контроля включают:

– бортовые устройства регистрации (БУР) параметрической, звуковой и видеоинформации, в том числе оборудование бортовой части НБСК: первичные преобразователи (датчики), согласующие устройства, блоки сбора полетной информации, бортовые накопители, блоки документирования и др.;

– наземные устройства обработки (НУО) параметрической, звуковой и видеоинформации, в том числе оборудование наземной части НБСК: вычислительные машины; устройства ввода, вывода и воспроизведения информации; устройства отображения результатов обработки; устройства согласования; блоки графической регистрации и др. [2, 3].

### Задачами объективного контроля являются [4]:

– предотвращение выпуска в полет неисправного ВС, а также экипажей ВС, допустивших выход за летно-эксплуатационные ограничения (ЛЭО), нарушения правил эксплуатации АТ на земле, в воздухе, и с отклонениями в состоянии здоровья;

– контроль полноты и качества подготовки авиационной техники (АТ) к полетам, работы АТ, средств радиолокации, связи и радиотехнического обеспечения (РТО) и автоматизированных систем управления (АСУ) в межрегламентный период эксплуатации, после выполнения регламентных, ремонтных работ, выполнения облетов, контрольных или ознакомительных полетов, а также при подготовке и после выполнения испытательных (исследовательских) полетов;

– контроль полноты, последовательности и качества выполнения полетных заданий, оценка уровня летной подготовки экипажей ВС, авиационных частей и организаций (далее – авиационные подразделения);

– выявление причин неудовлетворительных результатов выполнения полетных заданий;

– вскрытие недостатков в действиях лиц группы руководства полетами (ГРП) и расчетов пунктов управления (ПУ), центров единой системы организации воздушного движения (ЕС ОрВД), средств радиолокации, связи и РТО и АСУ при управлении полетами;

– обеспечение комиссий по расследованию авиационных происшествий и инцидентов достоверными данными о параметрах полета ВС, работоспособности его систем, действиях экипажа ВС,

переговорах экипажа ВС между собой, с ГРП, с расчетами ПУ и с центрами ЕС ОрВД, а также внутренних переговорах ГРП, расчетов ПУ, центров ЕС ОрВД;

– накопление данных, характеризующих параметры полета, работу контролируемых бортовых систем, силовой установки, оборудования и действий экипажа ВС, для последующей статистической обработки [5].

### Средствами объективного контроля (СОК) являются:

– бортовые устройства регистрации (далее – БУР) общего и специального назначения;

– бортовые автоматизированные системы контроля (далее – БАСК);

– бортовые устройства записи речевой информации (БУЗ);

– бортовые фото- и видеоконтрольные приборы;

– наземные штатные и нештатные средства регистрации;

– наземные устройства обработки (НУО) параметрической и звуковой информации.

БУР общего назначения используются для записи и сохранения информации о параметрах полета, переговорах и действиях членов экипажа ВС, работоспособности АТ.

БУР специального назначения используются для регистрации параметров бортовых комплексов или отдельных систем, а также действий экипажа ВС (расчетов боевого управления) по их применению.

БАСК используются для контроля соблюдения условий безопасности в полете и работоспособности АТ на земле и в полете.

БУЗ используются для записи переговоров членов экипажа ВС по внутренней связи, внешнего радиообмена, переговоров в кабине пилотов, сигналов бортовых систем и средств навигации, поступающих в кабину или на авиагарнитуры, переговоры членов экипажа ВС по громкой связи внутри кабины ВС.

Бортовые фотоконтрольные приборы (далее – ФКП) и видеоконтрольные приборы (далее – ВКП) используются для контроля прицеливания и поддержания необходимых условий применения специальных средств с помощью всех видов авиационных прицелов.

Наземные штатные средства регистрации (ФКП и ВКП, телевизионные и киносъемочные камеры, видеоманитофоны, средства регистрации на базе электронно-вычислительных машин (далее – ЭВМ), комплексы синхронного документирования речевой и радиолокационной информации,



магнитофоны и др.) используются на аэродромах, кораблях, полигонах, ПУ, в центрах ЕС ОрВД, на средствах радиолокации, связи, РТО и АСУ полетов.

Наземные нештатные средства регистрации могут использоваться при выполнении специальных испытательных, исследовательских полетов и при проведении учений.

Наземные устройства обработки параметрической и звуковой информации в зависимости от решаемых задач подразделяются на:

- НУО, обеспечивающие отображение, декодирование данных первичных носителей информации;
- НУО, обеспечивающие автоматизированную обработку данных первичных носителей информации;
- НУО оперативного контроля (далее – НУО ОПК), обеспечивающие автоматизированную обработку данных первичных носителей информации непосредственно у ВС.

В качестве примера приведем использование БУР на вертолете Ка-32А11ВС.

На вертолете Ка-32А11ВС (рис. 1) БУР (именуемое РПИ-2-02, устройство регистрации параметрической информации) предназначено для регистрации и сбора полетной информации и сохранения ее в случае летного происшествия (рис. 2).

В состав БУР входят:

- блок сбора полетной информации (БСПИ);
- пульт управления (ПУ);
- защищенный бортовой накопитель (ЗБН);

- датчики и согласующие устройства.

Пульт управления предназначен для ввода, запоминания и отображения на индикационном табло опознавательных данных вертолета, для дистанционного и ручного включения ЗБН и контроля работоспособности БУР на земле. Пульт установлен в транспортной кабине.

Защищенный бортовой накопитель предназначен для записи информации на магнитный накопитель и обеспечения ее сохранности в случае летного происшествия.

С этой целью лентопротяжный механизм помещен в теплоизоляционный и ударозащитный контейнер.

Контейнер ЗБН обеспечивает сохранность сигналаграммы после воздействия:

- окружающей температуры 1100°С в течение 15 мин с охватом 50% поверхности;
- авиационного топлива, гидравлических и опасных жидкостей в течение 5 мин;
- ударных перегрузок до 1000 g в течение 10 мс;
- статической нагрузки до 2260 кгс в течение 5 мин;
- морской воды в течение 36 ч.

На магнитном самописце БУР регистрируются аналоговые параметры полета и разовые команды.

Размещение блоков бортового устройства регистрации параметрической информации БУР-1-2В представлено на рис. 3.

Аналоговые параметры:

- высота барометрическая и геометрическая, температура наружного воздуха;
- скорость приборная, текущий курс;



Рисунок 1. Вертолет Ка-32А11ВС



Рисунок 2. Бортовое устройство регистрации параметрической информации и записи звуковой информации РПИ-2-02: 1 – БСПИ 2-02; 2 – ЗБН-2М; 3 – ПУ-И-2М; 4 – ПАМ-6к

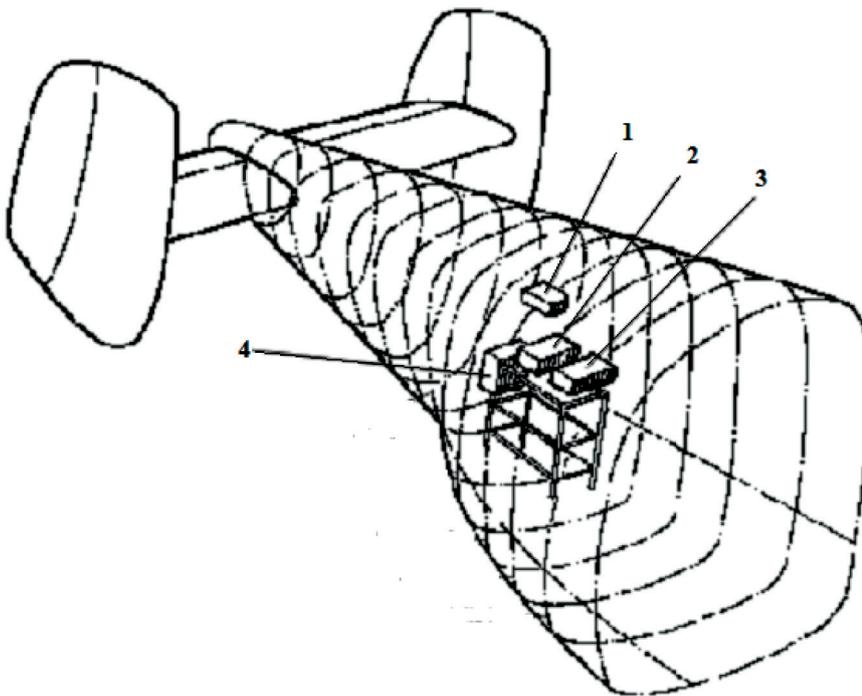


Рисунок 3. Размещение блоков бортового устройства регистрации параметрической информации БУР-1-2В: 1 – пульт управления; 2 – блок сбора полетной информации; 3 – защищенный бортовой накопитель; 4 – распределительная коробка  
Источник: [6]

- углы крена и тангажа, перегрузка (по вертикали);
- циклический и дифференциальный шаг винтов;
- частота вращения роторов турбокомпрессоров двигателей и несущих винтов;
- положение рычага ОШ и педалей;
- напряжение постоянного тока на шинах РУ;
- давление воздуха за компрессором двигателей (левого, правого).

Разовые команды:

- отжатие стойки шасси «земля»;
- включение баллонет (если установлены);
- отказ малогабаритной гиравертикали (МГВ), основного и резервного авиагоризонта (АГР);
- 2,5 мощности левого двигателя;
- 2,5 мощности правого двигателя;
- стружка в масле редуктора;
- аварийный остаток топлива (левой и правой групп баков);
- бортсеть на аккумуляторе;
- минимальное давление масла в двигателе (левом, правом);
- стружка в масле двигателя (левого, правого);
- давление масла в двигателе (левом, правом);
- сигнализация обледенения;



- закрытое положение перекрывных кранов (левого, правого);
- минимальное давление масла в редукторе, предельная температура масла в редукторе;
- минимальное давление в гидросистеме (основной, дублирующей);
- включение ПОС двигателя (левого, правого);
- противообледенительной системы несущих винтов (ПОС НВ);
- сброс груза с внешней подвески;
- отключение автопилота;
- выход на внешнюю связь через УКВ (ультракоротковолновую) радиостанцию;
- выход на внешнюю связь через КВ (коротковолновую) радиостанцию;
- пожар двигателя (левого, правого);
- пожар ВСУ (вспомогательной силовой установки);
- опасный уровень вибраций двигателя (левого, правого);
- отказ двигателя (левого, правого).

Защищенная на случай летного происшествия аппаратура МАРС-БМ предназначена для записи служебных переговоров между членами экипажа вертолета, переговоров с экипажами других летательных аппаратов с наземными (судовыми) пунктами управления, а также звуковой обстановки на борту вертолета. Запись воспроизводится за последние 30 мин работы аппаратуры.

Современные системы объективного контроля активно развиваются благодаря внедрению искусственного интеллекта, облачных технологий и Интернета. Ожидается, что в будущем они станут еще более автономными, смогут предсказывать неисправности с высокой точностью.

Бортовые средства объективного контроля играют важную роль в обеспечении безопасности и эффективности работы различных технических систем. Их развитие продолжается, приводя к совершенствованию методов анализа данных, автоматизации процессов и повышению уровня контроля в транспортной, промышленной, авиационной и медицинской сферах. Системы объективного контроля становятся неотъемлемой частью цифровой трансформации и способствуют улучшению качества управления современными техническими объектами.

## Источники

1. Бортовые средства объективного контроля [Электронный ресурс]. Передовые системы. URL: <https://forsys.ru/bortovyie-sredstva-obektivnogo-kontrolya.html>
2. ГОСТ 31812–2012. Средства наземного обслуживания самолетов и вертолетов гражданского назначения. Общие технические требования. М.: Стандартинформ, 2014.
3. ГОСТ Р 53543–2009. Средства наземного обслуживания самолетов и вертолетов. Общие технические требования. М.: Стандартинформ, 2011, 25 с.
4. Оборудование бортовых систем: Методическое пособие. Новосибирск: Новосибирский авиационный технический колледж, 2014. 91 с.: ил.
5. Приложение к приказу министра обороны РФ от 17 октября 2001 г. № 20 [Электронный ресурс]. Гарант. URL: <https://base.garant.ru/184199/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/>
6. Руководство по технической эксплуатации вертолета Ка-32А11ВС [Электронный ресурс]. URL: <https://book-olds.ru/BookLibrary/01921-Tehnicheskaya-dokumentatsiya/1988.-Vertolet-Ka-32.-Rukovodstvo-po-tehnicheskoy-ekspluatatsii.html>

## References

1. On-board means of objective control [Electronic resource]. Advanced systems. URL: <https://forsys.ru/bortovyie-sredstva-obektivnogo-kontrolya.html>
2. GOST 31812–2012. Ground handling equipment for civil aircraft and helicopters. General technical requirements. Moscow: Standartinform, 2014.
3. GOST R 53543–2009. Ground handling equipment for aircraft and helicopters. General technical requirements. Moscow: Standartinform, 2011, 25 p.
4. On-board systems equipment: Methodological manual. Novosibirsk: Novosibirsk Aviation Technical College, 2014. 91 p.: ill.
5. Appendix to the order of the Minister of Defense of the Russian Federation dated October 17, 2001 No. 20 [Electronic resource]. Garant. URL: <https://base.garant.ru/184199/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/>
6. Technical Operation Manual for the Ka-32A11BC Helicopter [Electronic resource]. URL: <https://book-olds.ru/BookLibrary/01921-Tehnicheskaya-dokumentatsiya/1988.-Vertolet-Ka-32.-Rukovodstvo-po-tehnicheskoy-ekspluatatsii.html>



# Особенности построения системы внутреннего аудита в сетевых торговых организациях

## П.А. Никаноров,

канд. экон. наук, генеральный директор  
ООО «Эй Джей Эй Регистрарс Си Ай Эс»;  
Санкт-Петербург  
e-mail: nikanorov@ajaregistrars.ru

## А.В. Краснобаев,

аспирант, Санкт-Петербургский  
государственный электротехнический  
университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова  
(Ленина), директор по качеству ООО «СТД  
«Петрович»; Санкт-Петербург  
e-mail: avkrasnobaev@yandex.ru

## Е.М. Долгова

руководитель отдела СМК и  
организационного развития ООО «СТД  
«Петрович»; Санкт-Петербург  
e-mail: elizavetadolgova0311@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассматривается эволюция системы внутреннего аудита в современных торговых организациях России с периода становления бизнеса в начале 90-х годов и до настоящего времени. Основное внимание уделяется особенностям построения системы внутреннего аудита в крупных сетевых торговых организациях с учетом специфики их деятельности.

Целью исследования является анализ трансформации системы внутреннего аудита в условиях роста и развития торговых организаций, а также выявление ключевых особенностей построения комплексной системы внутреннего аудита СМК в сетевых торговых предприятиях.

В работе рассматриваются основные отличия сетевых торговых организаций от промышленных предприятий, анализируются особенности матричной структуры управления и традиционные инструменты контроллинга, присущие тор-

говым предприятиям. Особое внимание уделяется построению двухуровневой системы аудита: операционного контроля торговых подразделений и аудита процессов системы менеджмента качества.

Научная новизна исследования заключается в разработке комплексного подхода к организации системы внутреннего аудита, учитывающего специфику сетевых торговых организаций. В статье предложены рекомендации по планированию и проведению аудита, определению подходов к степени охвата торговых точек, формированию команды аудиторов и применению специализированных информационных технологий.

В результате проведенного исследования выявлены ключевые особенности построения системы внутреннего аудита СМК сетевой торговой организации, включая определение стратегии планирования, формирование команды аудиторов и использование информационных технологий. Предложенные рекомендации могут быть использованы при совершенствовании систем внутреннего аудита в торговых организациях различного масштаба.

Основанная на опыте работы авторов, статья будет полезна специалистам в области управления качеством, внутренним аудиторам и руководителям торговых организаций, заинтересованным в построении и повышении эффективности системы внутреннего аудита.

**Ключевые слова:** внутренний аудит, система менеджмента качества (СМК), сетевая торговая организация, комплексная система аудита, операционный аудит, процессный аудит.

**Summary.** The article examines the evolution of the internal audit system in modern Russian trade organizations from the period of business formation in the early 90s to the present day. The main attention is paid to the features of building an internal audit system in large chain trade organizations, taking into account the specifics of their activities.



The purpose of the study is to analyze the transformation of the internal audit system in the context of growth and development of trade organizations, as well as to identify the key features of building a comprehensive internal audit system of the QMS in chain trade enterprises.

The paper examines the main differences between chain trade organizations and industrial enterprises, analyzes the features of the matrix management structure and traditional controlling tools inherent in trade enterprises. Particular attention is paid to building a two-level audit system: operational control of trade divisions and audit of quality management system processes.

The scientific novelty of the study lies in the development of an integrated approach to organizing an internal audit system that takes into account the specifics of chain trade organizations. The article offers recommendations for planning and conducting an audit, determining approaches to the degree of coverage of retail outlets, forming a team of auditors and using specialized information technologies.

As a result of the conducted research, the key features of the internal audit system of the QMS of the network trade organization were identified, including the definition of the planning strategy, the formation of a team of auditors and the use of information technologies. The proposed recommendations can be used to improve the internal audit systems in trade organizations of various sizes.

Based on the experience of the authors, the article will be useful to specialists in the field of quality management, internal auditors and managers of trade organizations interested in building and improving the efficiency of the internal audit system.

**Keywords:** internal audit, quality management system (QMS), network trade organization, comprehensive audit system, operational audit, process audit.

## Введение

Современный бизнес в России начался в конце 1980-х годов и прошел длинный путь от небольших кооперативов и «челноков» до крупных корпораций, работающих в различных направлениях деятельности во многих странах мира. И если большинство производственных отраслей (авиастроение, автомобилестроение, сельское хозяйство и др.), несмотря на огромные проблемы и кризисы, опиралось на технологии, производственные мощности и системы управления, созданные еще в СССР, организациям сферы торговли, в том виде, в котором мы их знаем, пришлось развиваться практически с нуля самостоятельно [1].

Примерно в одно время с началом развития в нашей стране рыночной торговли в мире начали развиваться стандарты ИСО серии 9000 (их первая редакция была опубликована в 1986 г.). В России первые проекты по сертификации систем менеджмента качества (СМК) на соответствие стандартам ИСО начались в первой половине 1990-х годов и к началу «нулевых» больше тысячи отечественных компаний, в том числе сферы услуг, активно использовали их в своей работе. При этом согласно сводному отчету ISO Survey за период с 1993 по 2017 г. к началу 2010-х годов отрасль оптовой и розничной торговли вошла в пятерку лидеров в общемировом рейтинге выданных сертификатов соответствия по стандарту ИСО 9001 [2].

Многие торговые компании, которые начали внедрять в свою деятельность требования ИСО 9001 на начальных этапах развития (в начале 2000-х годов), будучи небольшими по численности и охвату клиентов организациями, к настоящему времени выросли в десятки и сотни раз и теперь зачастую количество торговых точек может варьировать от нескольких десятков крупных торговых центров до десятков тысяч небольших торговых точек. Подобный рост, зачастую экспоненциальный, требует значительных изменений в процессах, методах и инструментах управления, в том числе в сфере менеджмента качества.

Стандарт ИСО 9001, особенно его текущая версия 2015 г., имеет общий характер и написан так, чтобы он был применим «любими организациями независимо от их вида, размера, поставляемой продукции и предоставляемых услуг» [3]. Однако способы выполнения его требований значительно варьируют в зависимости как от области, так и от размера и масштаба деятельности организации. Так, в небольших организациях может присутствовать достаточно простая организационная структура, малое количество номенклатур продукции или услуг, один или несколько основных производственных процессов. Но с ростом организации меняется количество и типы торгово-производственных площадок, номенклатура реализуемых товаров, количество и сложность процессов. Кроме того, в настоящее время основной маркетинговой стратегией многих организаций становится формирование так называемой экосистемы, когда традиционная деятельности торговых организаций дополняется неспецифичными сервисами и услугами, призванными привлечь дополнительных клиентов и удовлетворить максимальное число их потребностей [4]. Формирование экосистемы приводит к значительному усложнению бизнес-структуры в дополнение к росту основного бизнеса.

В соответствии с требованиями стандарта ИСО 9001 организация должна [3]:



– определить границы системы менеджмента качества и охватываемую ею деятельность, чтобы установить область ее применения (п. 4.3);

– определять процессы, необходимые для системы менеджмента качества, и их применение в рамках организации (п. 4.4.1).

Помимо этого, если организация решает провести сертификацию своей системы менеджмента, она должна определить и своевременно корректировать область сертификации СМК.

На основании сказанного можно сделать вывод, что по мере развития организации необходимо отслеживать и своевременно актуализировать границы системы менеджмента качества, набор необходимых для системы менеджмента качества процессов, а также область сертификации системы менеджмента качества.

Границы СМК, состав процессов, производимой продукции, изменения в географии работы организации непосредственно оказывают влияние на построение системы внутреннего аудита системы менеджмента качества, требования к которому также имеются в стандарте ИСО 9001. Аудит – это «систематический, независимый и документированный процесс установления объективного свидетельства и его объективного оценивания для получения степени соответствия критериям аудита» [5], в частности внутренним требованиям организации и стандартам на системы менеджмента. Таким образом, при изменении масштаба и структуры работы организации должна меняться и система внутреннего аудита. Отсутствие своевременного изменения системы внутреннего аудита (включая гибкую адаптацию планов аудита, состав аудиторской группы, критериев, необходимых ресурсов) может привести к снижению результативности системы аудита и ее неспособности выполнить свою функцию в части подтверждения адекватности системы менеджмента качества в соответствии с требованиями п. 9.3. стандарта ИСО 9001.

## Особенности сетевых торговых организаций

К числу наиболее значимых отличий сетевых торговых организаций от типовых промышленных предприятий можно отнести:

– большое число торговых точек, распределенных географически;

– преобладание матричной структуры управления (единый центр управляет множеством торговых точек через формирование стандартов деятельности и механизмы контроля) (табл. 1);

– наличие традиционных для сферы сетевой торговли инструментов контроллинга, включающих такие инструменты, как регулярное проведение инвентаризации товарно-материальных ценностей, проверка состояния складских и торговых помещений (соблюдения правил хранения и выкладки товара), проверка сервиса при помощи инструментов классического «тайного покупателя» или при помощи современных средств речевой аналитики и многих других.

Таким образом, построение системы внутреннего аудита СМК в сетевых торговых организациях требует проведения дополнительного анализа имеющихся процессов в торговой сетевой организации и ее интеграцию в общую систему контроллинга предприятия.

## Комплексная система внутреннего аудита СМК

Исходя из особенностей крупных сетевых торговых организаций значительно меняется структура и организация процессов внутреннего аудита СМК в отличие от типовых промышленных предприятий.

Широкая филиальная сеть, матричная структура управления, а также наличие различных традиционных видов и инструментов контроля в крупной торговой сетевой организации заставляет задуматься о комплексной системе аудита, состоящей из нескольких уровней, которые можно выде-

Таблица 1. Матричная система управления предприятием сетевой торговли

Подразделение управления	Дивизион 1			Дивизион 2			Дивизион N
	торговая точка 1	торговая точка 2	торговая точка N	торговая точка 1	торговая точка 2	торговая точка N	торговая точка N
Отдел маркетинга	X	X	X	X	X	X	X
Отдел закупок	X	X	X	X	X	X	X
Отдел логистики	X	X	X	X	X	X	X
Отдел продаж	X	X	X	X	X	X	X
Отдел N	X	X	X	X	X	X	X



лить, применяя риск-ориентированный подход, по ряду таких критериев, как объект аудита и степень влияния на удовлетворенность потребителей и т.п.

*Уровень 1. Операционный аудит торговых подразделений*

Объектом данного уровня аудита являются торговые подразделения и требования на «микроровне», такие, например, как сохранность товарно-материальных ценностей, условия хранения товара, выставки в магазинах, качество выполнения стандартов обслуживания в точках продаж и др. Для этого могут применяться различные методы – ревизии, контрольные проверки, методы «тайного покупателя», видеонаблюдения и многое другое [6]. Для мониторинга этих требований рекомендуется ввести регулярный контроль – ежедневный, еженедельный, ежемесячный.

*Уровень 2. Аудит процессов системы менеджмента качества*

В отличие от уровня операционного аудита, который нацелен на регулярный мониторинг наиболее критических требований для функционирования торговой точки, аудит процессов системы менеджмента качества нацелен на аудит функционирования процессов системы менеджмента – основных, вспомогательных и управленческих, на предмет их соответствия требованиям внутренней нормативной документации и требованиям стандарта ИСО 9001. При этом результаты операционного аудита могут являться входными данными для проведения аудита процессов СМК.

### Особенности системы внутреннего аудита СМК сетевой торговой организации

На основе описанной выше комплексной системы внутреннего аудита можно выделить следующие ключевые особенности построения системы внутреннего аудита СМК сетевой торговой организации:

- определение стратегии к планированию и проведению аудита;
- определение подходов к степени охвата торговых точек сети;
- формирование команды внутреннего аудита;
- применение специализированных информационных технологий.

Далее представлены некоторые рекомендации по построению комплексной системы внутреннего аудита СМК сетевой торговой организации, составленные с учетом опыта, накопленного авторами в ходе работы с различными торговыми организациями, в частности, СТД «Петрович».

### Определение стратегии к планированию и проведению аудита

В зависимости от специфики системы менеджмента организации, а также с целью оптимизации затрат и достижения задач программы аудита выделяют две классические схемы проведения аудита системы менеджмента:

- проведение внутреннего аудита по подразделениям, в ходе которого проверяется выполнение требований к процессам, в реализации которых оно задействовано. Такая схема повышает удобство для работы группы аудиторов, при этом не позволяет проследить взаимодействие между подразделениями;

- проведение внутреннего аудита по процессам, в ходе которого проверяется один процесс (например, управление персоналом) на всех этапах его реализации в различных подразделениях (например, служба персонала – как ответственное подразделение, а также выборочно офисные подразделения, торговые точки и др.). Данная схема позволяет провести анализ всего процесса в рамках взаимодействия между подразделениями [7].

Исходя из особенностей функционирования и управления торговой сетевой организацией рекомендуется применять дифференцированный подход в зависимости от уровня системы аудита. Так, на уровне операционного контроля торговых точек наиболее рационально и эффективно проводить аудит по подразделениям, фокусируясь на проверке выполнения требований в рамках локальных процессов торгового подразделения. Тогда как при аудите процессов системы менеджмента на верхнем уровне рекомендуется выбрать схему аудита по процессам, с целью проверить порядок межфункционального взаимодействия (табл. 2).

**Таблица 2. Выбор схемы проведения аудита СМК торговой сети**

Уровень	Схема аудита
Оперативный контроль деятельности торговых точек	По подразделениям (торговые объекты)
Аудит процессов системы менеджмента	По процессам, смешанная

Определение подходов к степени охвата торговых точек сети

Одним из принципов проведения внутреннего аудита, указанным в стандарте ИСО 19011, является риск-ориентированный подход к планированию, проведению и отчетности по результатам проведенного аудита. Он предполагает, «что аудит сфокусирован на вопросах, имеющих значение для



заказчика аудита и для достижения целей программы аудита» [5].

Таким образом, целесообразно подойти к планированию аудитов СМК с учетом рисков, запланировав проверку наиболее значимых требований для функционирования СМК организации и удовлетворенности потребителей уровнем операционного аудита (табл. 3), для которого, как правило, характерен сплошной метод аудита, когда в соответствии с запланированным графиком и периодичностью проверяются все торговые точки.

Говоря об уровне аудита процессов СМК, надо отметить, что с увеличением количества сотрудников, процессов, подразделений и торговых точек сети, объемы проведения внутренних аудитов постоянно растут. Снизить расходы на проведение аудитов процессов без потери результативности позволит использование выборки, когда в течение запланированного промежутка времени (например, одного года) проверяется не 100% имеющихся торговых объектов, осуществляющих одинаковую или очень схожую деятельность, а какая-то их часть – репрезентативная выборка, по которой можно судить о результативности всей системы в целом.

**Таблица 3. Подходы к степени охвата торговых точек сети**

Уровень	Уровень риска	Выборка
Оперативный контроль деятельности торговых точек	Высокий	Сплошная, все торговые объекты
Аудит процессов СМК	Средний или низкий	Все головные подразделения. Торговые объекты – выборочно

В качестве методического материала формирования такой выборки можно использовать требования ГОСТ Р 56056–2014, раздел 7 «Выборка» [8]. Несмотря на то что данный стандарт распространяется на сертификационные аудиты СМК, его принципы можно использовать и при выполнении программы внутренних аудитов СМК. При подобной выборке нужно учитывать специфику проверяемого процесса, географическое месторасположение торговых объектов, информацию о результатах работы торговых объектов, результаты аудитов за прошлый период и иные факторы.

Таким образом акцент при проведении аудита процессов СМК делается на аудите самого процесса (и владельца процесса), тогда как охват торговых точек осуществляется на выборочной основе, что и отличает его от операционного аудита. Такой

подход позволяет повысить эффективность аудита, при этом выполнить требования п. 9.2 стандарта ИСО 9001.

### Формирование команды внутреннего аудита

Численность и структура команды аудиторов непосредственно связаны с определением схемы внутреннего аудита и выработки подходов к степени охвата торговых точек торговой сети. Построение двухуровневой комплексной системы внутреннего аудита СМК торговой сети может повысить результативность и эффективность процесса внутренних аудитов за счет гибкого формирования команды аудиторов под конкретные задачи. Так, для уровня операционного аудита, для которого характерна схема аудита по подразделениям и сплошной охват, число аудиторов будет практически прямо пропорциональна числу торговых объектов. При этом требования к компетентности аудиторов (а значит, и их стоимость на рынке труда) будет меньше за счет применения подробных чек-листов и дополнительной информации в ходе проверки выполнения требований. Кроме этого на уровне операционного аудита как правило проверяются исключительно внутренние требования организации.

Проверка процессов системы менеджмента (их функционирования в широком смысле, в том числе на соответствие стандартам на системы менеджмента) требует большей подготовки аудитора в вопросах процессного управления, глубокого знания стандартов на системы менеджмента, а также серьезными аналитическими и коммуникационными возможностями, поскольку аудит на уровне процессов системы менеджмента неразрывно связан с общением с владельцами процессов на уровне руководителей отделов и директоров департаментов (табл. 4).

**Таблица 4. Подходы к формированию команды аудиторов**

Уровень	Численность	Компетентность
Оперативный контроль деятельности торговых точек	Зависит от числа торговых объектов	Глубокое знание внутренних требований организации, знание специфики торговых организаций
Аудит процессов СМК	Зависит от количества процессов и выборки торговых объектов	Высокий уровень подготовки в области внедрения и построения систем менеджмента



Таким образом можно сделать вывод, что формирование команды внутренних аудиторов СМК в крупной сетевой торговой организации может строиться по двум направлениям. При этом важную роль играет процесс формирования программы аудита и соответствующих чек-листов для более эффективного управления аудиторскими заданиями на каждом уровне комплексной системы внутреннего аудита СМК.

### Применение специализированных информационных технологий

Как уже было отмечено ранее, особенностями сетевых торговых предприятий является широкая филиальная сеть и матричная структура управления, когда подразделения центрального офиса формируют стандарты деятельности и соответствующие контрольные процедуры. Все это формирует значительный объем аудиторских процедур, эффективное управление которыми невозможно без применения специализированных программных продуктов для учета проведенных проверок и отслеживания своевременности и правильности выполнения корректирующих мероприятий.

Так, на уровне операционного аудита наиболее подходящими могут быть современные системы электронных чек-листов, которые позволяют создавать неограниченное число шаблонов проверок, эффективно управлять аудиторским заданием и командой аудиторов. Особенностью такого вида информационных систем является возможность быстрого создания чек-листов, быстрой корректировки и направления задания аудитору, быстрое заполнение чек-листов на мобильных устройствах и мгновенная передача результатов на сервер. Кроме этого такие системы автоматически формируют задания на выполнение корректирующих мероприятий и отслеживают своевременность их выполнения [9].

Для аудита процессов СМК системы чек-листов также могут быть применены, однако к процессу проведения данного аудита применяются более жесткие требования, в том числе указанные в стандартах ИСО 9001 и ИСО 19011, таким образом, для реализации этих требований наиболее целесообразно применять более профильные программные продукты для проведения внутреннего аудита СМК (табл. 5). В большинстве подобных продуктов уже включены, например, чек-листы для аудита по наиболее востребованным системам менеджмента, что облегчает работу по планированию и проведению внутренних аудитов.

**Таблица 5. Применение информационных технологий для внутреннего аудита СМК**

Уровень	Рекомендуемое ПО
Оперативный контроль деятельности торговых точек	Системы электронных чек-листов: Check-office, Ритейлика, Service Inspector и др.
Аудит процессов системы менеджмента	ПО для автоматизации СМК: Business Studio, GRAIT Audit, КИСМ, АИСМК, АСМО – СМК и др.

Важно отметить, что наилучшим решением могла бы стать возможность внедрения такого программного обеспечения, которое сможет реализовать потребности всех видов проверок и аудитов в организации в одной информационной системе. Такая система позволит сократить число интерфейсов для работы и упростить работу с корректирующими мероприятиями для руководителей торговых точек и владельцев процессов.

### Заключение

По мере развития организации необходимо вовремя отслеживать и вносить необходимые изменения в систему менеджмента качества и в систему внутреннего аудита. Система внутреннего аудита системы менеджмента в современной крупной торговой организации имеет комплексный характер и должна выстраиваться с учетом особенностей, обозначенных выше. То, насколько организация сможет учесть данные особенности при развитии процесса внутреннего аудита, во многом определит его способность достижения поставленных целей, в том числе поиск и выявление системных несоответствий и областей для улучшения системы менеджмента качества.

Реализация системы внутреннего аудита системы менеджмента с учетом указанных особенностей может способствовать повышению результативности системы внутреннего аудита и, как следствие, повышению результативности системы менеджмента качества организации, а значит, и роста удовлетворенности запросов ее потребителей.

### Источники

1. Борисов Е.С., Дятлов А.Н. Становление и тенденции развития сетевой розничной торговли в России // Микроэкономика. 2010. № 5. С. 69–73. EDN MWPDEX
2. ISO/CASCO – Committee on conformity assessment. 01. ISO 9001 – Number of certificates per country and industry sectors – 1993 to 2017. URL: [https://www.iso.org/committee/54998.html?t=dnBm2j\\_](https://www.iso.org/committee/54998.html?t=dnBm2j_)



sAhhXB1XFYcHFdz9kmqJlQH9v-kmsAvQsa1mCg  
DLySpIcp5ZMcOBvnI3&view=documents#section-  
isodocuments-top

3. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования (введ. 11 января 2015 г.) / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. М.: Стандартиформ, 2015.

4. Чеглов В.П., Чеглов А.В. Экосистемы в ретейле или ретейл в экосистемах. М.: Научно-издательский центр ИНФРА-М, 2024. 187 с. DOI: 10.12737/2082654. EDN MDABAN

5. ГОСТ Р ИСО 19011-2021. Оценка соответствия. Руководящие указания по проведению аудита систем менеджмента (взамен ГОСТ Р ИСО 19001-2012; введ.: 7 января 2021 г. ОАО «ВНИИС»). М., 2021. 41 с.

6. Галягин И.О., Ерочкина О.А. Применение исследований потребительского опыта для улучшения бизнес-процессов предприятий розничной торговли // Петербургский экономический журнал. 2023. № 4. С. 147–160. EDN XDOXEN

7. Внутренний аудит системы менеджмента: Учеб. пособие / Учеб.-метод. центр «Регистр-кон-

салтинг»; Сост. Н.А. Шичков и др. СПб.: С.-Петерб. гос. лесотехн. акад., 2004. 60 с.

8. ГОСТ Р 56056-2014. Порядок определения представительной выборки при сертификации систем менеджмента организаций с несколькими производственными площадками = Procedure for definition of representative sample at certification of management systems of the organizations with multiple sites : национальный стандарт Российской Федерации / Разработан Всерос. научно-исследователь. ин-том сертификации; Введ. впервые / Введ. 7 января 2015 г. М.: Стандартиформ, 2014. – III, 7 с.; 29 см.

9. Краснобаев А.В. Электронный чек-лист как инструмент управления качеством // Современные проблемы менеджмента: Материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Санкт-Петербург, 20 апреля 2023 г. СПб.: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина), 2023. С. 19–21. EDN UMAWUQ

## References

1. Borisov E.S., Dyatlov A.N. Formation and development trends of network retail trade in Russia // Microeconomics. 2010. No. 5. Pp. 69–73. EDN MWPDEX

2. ISO/CASCO – Committee on conformity assessment. 01. ISO 9001 – Number of certificates per country and industry sectors – 1993 to 2017. URL: [https://www.iso.org/committee/54998.html?t=dnBm2j\\_sAhhXB1XFYcHFdz9kmqJlQH9v-kmsAvQsa1mCgDLySpIcp5ZMcOBvnI3&view=documents#section-isodocuments-top](https://www.iso.org/committee/54998.html?t=dnBm2j_sAhhXB1XFYcHFdz9kmqJlQH9v-kmsAvQsa1mCgDLySpIcp5ZMcOBvnI3&view=documents#section-isodocuments-top)

3. GOST R ISO 9001-2015. Quality management systems. Requirements (introduced on January 11, 2015) / Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. Moscow: Standartinform, 2015.

4. Cheglov V.P., Cheglov A.V. Ecosystems in retail or retail in ecosystems. Moscow: Scientific Publishing Center INFRA-M, 2024. 187 p. DOI: 10.12737/2082654. EDN MDABAN

5. GOST R ISO 19011-2021. Conformity assessment. Guidelines for conducting an audit of management systems (replacing GOST R ISO 19001-2012; introduced: January 7, 2021 by JSC VNIIS). Moscow, 2021. 41 p.

6. Galyagin I.O., Erochkina O.A. Application of consumer experience research to improve business processes of retail enterprises // Petersburg Economic Journal. 2023. No. 4. Pp. 147–160. EDN XDOXEN

7. Internal audit of the management system: Textbook. manual / Educational and methodological center «Register-consulting»; Comp. N.A. Shichkov et al. SPb.: St. Petersburg state forestry academy, 2004. 60 p.

8. GOST R 56056-2014. Procedure for definition of representative sample at certification of management systems of the organizations with multiple sites : national standard of the Russian Federation / Developed by the All-Russian research institute of certification; Introduced for the first time / Introduced by January 7, 2015. Moscow: Standartinform, 2014. – III, 7 p.; 29 cm.

9. Krasnobaev A.V. Electronic checklist as a quality management tool // Modern management problems: Proceedings of the XVII All-Russian scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists. St. Petersburg, April 20, 2023. St. Petersburg: St. Petersburg State Electrotechnical University «LETI» named after V.I. Ulyanov (Lenin), 2023. P. 19–21. EDN UMAWUQ



УДК 681.518.9; 621.384.3

# Управление качеством технологических процессов и оборудования интеллектуального наукоемкого производства

## С.С. Анцыферов

*д-р техн. наук, профессор кафедры метрологии и стандартизации, Институт перспективных технологий и промышленного программирования МИРЭА – Российский технологический университет*

## К.Н. Фазилова

*канд. техн. наук, доцент кафедры метрологии и стандартизации, Институт перспективных технологий и промышленного программирования МИРЭА – Российский технологический университет*

## Д.С. Муравьев

*ассистент кафедры метрологии и стандартизации, Институт перспективных технологий и промышленного программирования МИРЭА – Российский технологический университет*

**Аннотация.** В статье предложена методология управления качеством технологических процессов и оборудования интеллектуального наукоемкого производства. Практическая апробация данной методологии показала возможность ее использования при сопоставлении текущей ситуации с ранее просчитанными вариантами из дерева всех состояний качества.

**Ключевые слова:** методология, управление качеством, технологический процесс, технологическое оборудование, нейросеть, машинное обучение, контроль качества

**Summary.** In the article, a methodology for quality management of technological processes and equipment in intelligent high-tech production is proposed. Practical

testing of this methodology has shown its applicability when comparing the current situation with previously calculated options from the tree of all quality states.

**Keywords:** methodology, quality management, technological process, technological equipment, neural network, machine learning, quality control.

## Введение

Задача достижения высокого уровня качества функционирования технологических процессов (ТП) и технологического оборудования интеллектуального наукоемкого производства (ИНП) может быть решена путем непрерывного мониторинга и прогнозирования их состояний, а также своевременного проведения производственно-профилактических работ.

В связи с этим актуальной становится проблема разработки методологии и реализующих ее систем управления качеством технологических процессов и технологического оборудования. Данные системы должны предоставлять информацию не только о реальном состоянии контролируемых процессов и оборудования, но и давать прогноз о возможности появления критических состояний.

Полученная информация позволяет установить более четкие связи между процедурами планирования регламентно-ремонтных работ и реальным (а также прогнозируемым) состоянием технологических процессов и оборудования, что должно привести к повышению эффективности производства в целом.

Цель работы – разработка методологии управления качеством технологических процессов и оборудования интеллектуального наукоемкого производства.

## Методология управления качеством

В основу методологии положим принцип всеобъемлющего, многоуровневого контроля качества. Выделим основные уровни (см. рисунок):

– контроль качества технологического оборудования. Элементом контроля является многослойный нейросетевой классификатор (НСК) состояний оборудования. НСК проходит предварительную настройку на обучающей выборке сигналов с оборуду-



дования (режим машинного обучения), в результате которой создается возможность различать состояния оборудования (оптимальное, хорошее и т.д.).

НСК послужил основой для создания системы мониторинга и прогнозирования состояний технологических процессов и оборудования [1]. Данная система встроена в платформу интернета вещей IoT Istok, что позволяет своевременно устранять одну из причин снижения качества продукции и осуществлять более четкую организацию ремонтно-профилактических работ;

- контроль качества выполнения технологических операций (ТО). Для оптимизации ТО создается на основе базы знаний (БЗ) ее цифровой двойник (ЦД) и разрабатывается 3D-модель обрабатываемой детали (Д). После выполнения ТО проводится измерение контролируемого размера (КР) и сравнение полученного результата с 3D-моделью, что позволяет получить вероятностную оценку эффективности выполненной операции, являющейся мерой качества ТО. Наличие вероятностных мер эффективности всех операций позволяет дать оценку качества технологического процесса в целом;

- контроль качества технологического процесса путем оценки текущих показателей качества. Для этого в режиме машинного обучения определяются интервальные значения вероятностных показателей ( $P_{min}, P_{max}$ ) и согласно алгоритму А1 [2] соответствующие им граничные значения показателей качества  $H$  и  $\dot{H}$ , определяемые в свою очередь согласно алгоритму А2 [2]. Текущие по-

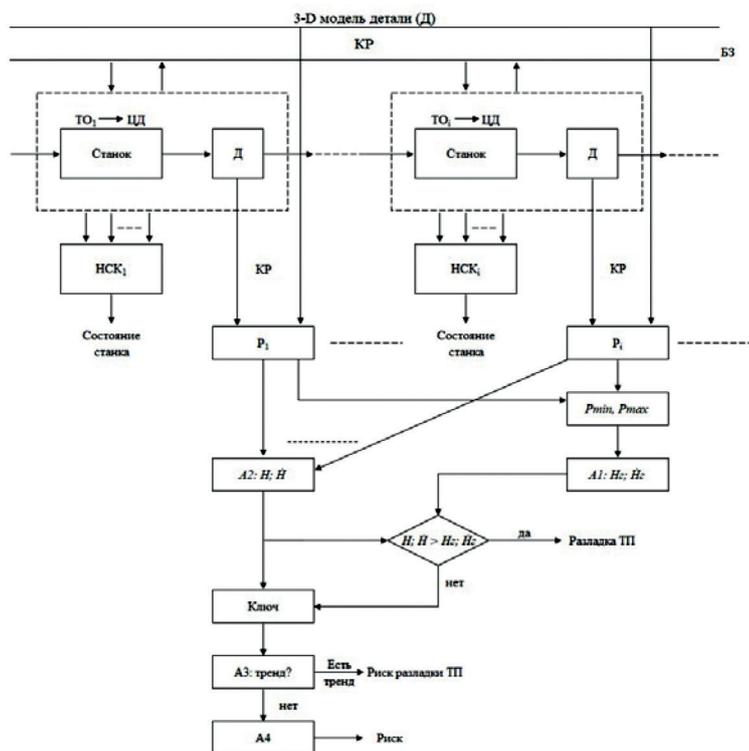
казатели  $H$  и  $\dot{H}$ , полученные на каждом такте ТП, сравниваются с граничными значениями (границы области качества:  $H_2$  и  $\dot{H}_2$ ). Выход за границы указывает на разладку ТП;

- прогнозируемый контроль качества. Для этого в пределах области качества с помощью алгоритма А3 с элементами искусственного интеллекта осуществляется поиск тренда (устойчивого перемещения текущих показателей  $H$  и  $\dot{H}$  в сторону граничного значения). При обнаружении тренда выдается сигнал о риске разладки ТП. Если же тренда не обнаружено, проводится статистическая обработка набора данных с помощью алгоритма А4 с определением вероятности риска разладки ТП.

Практическая реализация системы управления качеством в виде обучаемой нейросети позволит создать расчетную матрицу, с помощью которой появится возможность сопоставления текущей ситуации с ранее просчитанными вариантами из дерева всех состояний качества.

### Заключение

Предлагаемая методология позволяет создавать системы управления качеством технологических процессов и оборудования интеллектуального наукоемкого производства в виде программируемых модулей, создающих возможность оптимизации плана предупредительных ремонтно-профилактических работ на основе машинного обучения. Это



Структурная схема системы управления качеством ТП и оборудования



является хорошей основой для создания высокого качества функционирования как технологического оборудования, так и технологических процессов в целом.

#### Использованные источники

1. Анцыферов С.С. и др. Система мониторинга и прогнозирования поведения оборудования на базе IIoT // Автоматизация в промышленности. 2024. № 3. С. 51–55.

2. Анцыферов С.С., Сигов А.С., Фазилова К.Н. Методология контроля функционирования неравновесно-устойчивых технических систем // Проблемы искусственного интеллекта. 2021. № 1(20). С. 18–26.

3. Анцыферов С.С., Фазилова К.Н., Русанов К.Е. Методика контроля качества технологических процессов интеллектуального машиностроительного производства // Научно-технические технологии. 2023. Т. 24. № 7. С. 39–43.

4. Анцыферов С.С., Тихонов И.А. Интеллектуализация предприятий электронной промышленности и управление рисками // Проблемы искусственного интеллекта. 2023. № 4(31). С. 29–39.

5. Анцыферов С.С., Фазилова К.Н., Русанов К.Е. Интеллектуальные системы управления технологическими процессами // Проблемы искусственного интеллекта. 2024. № 2(43). С. 37–44.

#### References

1. Antsyferov S.S. et al. System for monitoring and forecasting equipment behavior based on IIoT // Automation in Industry. 2024. No. 3. Pp. 51–55.

2. Antsyferov S.S., Sigov A.S., Fazilova K.N. Methodology for monitoring the functioning of nonequilibrium-stable technical systems // Problems of Artificial Intelligence. 2021. No. 1(20). Pp. 18–26.

3. Antsyferov S.S., Fazilova K.N., Rusanov K.E. Methodology for quality control of technological processes in intelligent mechanical engineering production // Science-intensive technologies. 2023. Vol. 24. No. 7. Pp. 39–43.

4. Antsyferov S.S., Tikhonov I.A. Intellectualization of Electronics Industry Enterprises and Risk Management // Problems of Artificial Intelligence. 2023. No. 4(31). P. 29–39.

5. Antsyferov S.S., Fazilova K.N., Rusanov K.E. Intelligent Process Control Systems // Problems of Artificial Intelligence. 2024. No. 2(43). P. 37–44.



# Разработка визуальной модели процесса поддержания заданной температуры в экстракционной колонне

## Е.Л. Царегородцев,

доцент, канд. техн. наук  
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске  
e-mail: evgencar@rambler.ru

## В.А. Фомин,

магистр, ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»  
в г. Смоленске  
e-mail: Valerafoma29@gmail.com

## Р.А. Аль Дивани,

магистр, ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»  
в г. Смоленске  
e-mail: ruslan23312@mail.ru

**Аннотация.** В селективной очистке важным фактором изготовления продукции является температура, от которой зависит будущее состояние изделия.

В данной статье рассматривается модель поддержания температуры в экстракционной колонне с подогревом фенольной воды от печи.

Выбор основного оборудования для промышленного предприятия является важной задачей при проектировании машинно-аппаратурной линии. От характеристик оборудования, таких как производительность и эффективность, зависят качество выпускаемой продукции и стабильность работы предприятия.

**Ключевые слова:** селективная очистка, экстракция, Simintech, моделирование.

**Summary.** In selective cleaning, an important factor in the manufacture of products is the temperature, which determines the future condition of the product. This article discusses a model for maintaining temperature in an extraction column with heated phenolic water from a furnace.

The choice of the main equipment for an industrial enterprise is an important task when designing a machine and hardware line. The quality of the products and the stability of the enterprise depend on the characteristics of the equipment, such as productivity and efficiency.

**Keywords:** Selective purification, extraction, SimInTech, modeling.

Поддержание оптимальной температуры в селективной очистке – один из самых важных факторов, от которого зависит качество готовой продукции. Температура влияет на весь процесс: от момента, когда масляная фракция попадает в колонну, до этапа получения готовой продукции. Если температура в колонне не соответствует норме, это сразу отражается на конечном результате [1].

Правильный температурный режим во время экстракции обеспечивает получение качественной продукции. Если температура слишком низкая, выход масла будет не таким большим. А при слишком высоких значениях качество продукта потеряет свои изначальные свойства.

Все это делает температурный контроль ключевым моментом в производственном процессе. Современные технологии помогают производителям минимизировать ошибки – используются терморегуляторы, датчики и системы автоматического контроля, которые поддерживают стабильный режим. Это позволяет не только улучшить качество продукции, но и продлить срок ее хранения, что особенно важно для крупных предприятий, производящих базовые масла.

С помощью SimInTech можно не только моделировать терморегуляторы, но и оптимизировать параметры их работы, что особенно важно для процессов, где температурная стабильность влияет на качество конечного продукта. Структурная схема модели системы автоматического регулирования представляет собой графическое отображение взаимосвязей между основными

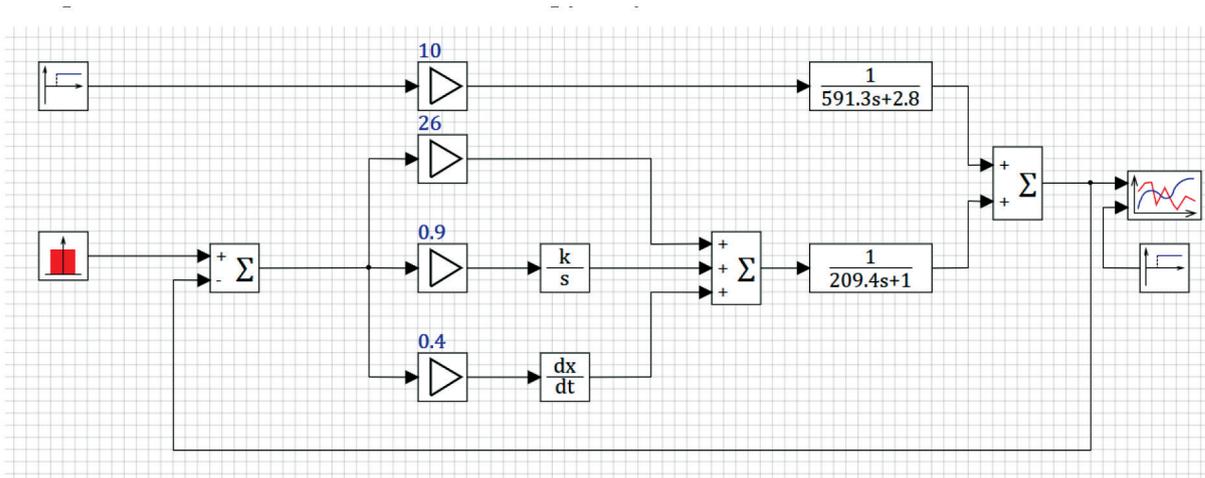


Рисунок 1. Модель поддержания температуры в форкамере

компонентами системы, которые обеспечивают регулирование заданной величины [2]. Такая схема показывает, как различные элементы системы взаимодействуют друг с другом и как информация или сигналы передаются от одного компонента к другому [3].

Источником сигнала выступает блок. Равномерный шум непрерывно генерирует сигнал случайных значений. Созданный сигнал идет на блок сумматора, после чего попадает на систему блоков пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора. Полученные значения попадают на блок с ранее выраженной передаточной функцией, после чего суммируются с дополнительной ветвью ступенчатого воздействия, моделирующей внешнее воздействие на систему в виде подачи сырья в рабочую область экстракционной колонны [2]. После сумматора сигнал возвращается на первый блок сложения в качестве управляющего воздействия, а также поступает на блок графического вывода данных. Для оценки качества регулирования заданной величины к блоку графического вывода также подключен блок ступенчатого воздействия, отображающий уровень необходимой температуры.

Использованный в моделировании блок ПИД-регулятора состоит из трех составляющих:

- пропорциональная составляющая (P): часть регулятора пропорциональна текущему отклонению измеряемой величины от заданного значения;
- интегральная составляющая (I): учитывает суммарное накопление ошибок за определенный период времени;
- дифференциальная составляющая (D): часть регулятора прогнозирует будущее поведение

системы, основываясь на скорости ее изменения.

Результатом моделирования системы автоматического регулирования является переходная характеристика. Переходная характеристика системы – это графическое или математическое представление изменения ее выходной величины во времени при воздействии на нее внешнего воздействия, обычно после резкого изменения входных параметров, таких как ступенчатое изменение или импульс [4]. Переходная характеристика показывает, как система реагирует на это воздействие и как она достигает нового состояния равновесия или стабильности.

Полученный переходный процесс представлен на рис. 2.

Характер полученной характеристики возрастающе-колебательный, время, за которое температура достигает и остается в пределах установленного значения, равняется 80 сек. Как видно из графика, переходный процесс имеет некоторую величину перерегулирования, но регулируемое значение не выходит за допустимые границы. При оказании на систему внешнего воздействия в районе значения времени, равного 100 сек., наблюдается выраженный максимум, после чего система стабилизируется и температура колеблется на уровне 60°C с небольшими амплитудами.

Анализируя полученный переходный процесс, можно заключить, что полученная модель автоматического регулирования температуры камеры экстракционной колонны обеспечивает устойчивое поддержание процесса очистки масляной фракции.

Таким образом, по графику можно заметить, что температура форкамеры колеблется в допустимых пределах.

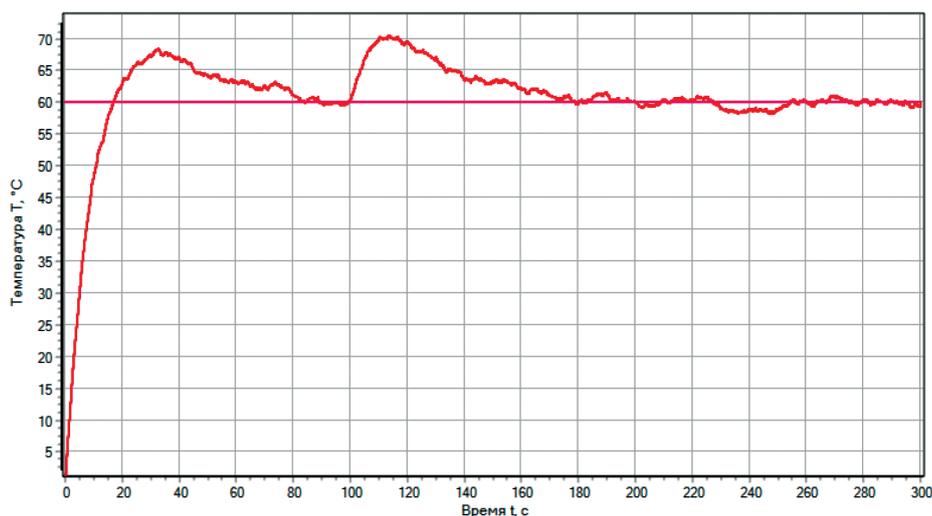


Рисунок 2. График переходного процесса модели САР

## Источники

1. Литхерова Н.М. Тенденции развития глубокой переработки нефти в России // Химия и технология топлив масел. 2017. Вып. 3. С. 3–6.
2. Гайдук А.Р. SimInTech: Теория и методы аналитического синтеза систем автоматического управления (полиномиальный подход). М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. 364 с.
3. Проскуряков В.А. Химия нефти и газа: Учеб. пособие для химико-технол. спец. Вузов / Под ред. В.А. Проскурякова, А.Е. Драбкина. Л.: Химия, 2018. 359 с.
4. Карташов Б.А., Шабаетв Е.А. SimInTech: Применение информационных технологий в автоматическом управлении. М.: ДМК Пресс, 2024. 580 с.

## References

1. Litherova N.M. Trends in the development of deep oil refining in Russia. Chemistry and technology of fuels and oils, 2017, Iss. 3, pp. 3–6.
2. Gaiduk A.R. SimInTech: Theory and methods of analytical synthesis of automatic control systems (a polynomial approach). Moscow, FIZMATLIT, 2012, 364 p.
3. Proskuryakov V.A. Chemistry of oil and gas: Textbook for chemical and technical special universities. Edited by V.A. Proskuryakova, A.E. Drabkina. L., Khimiya, 2018, 359 p.
4. Kartashov B.A., Shabaev E.A. SimInTech: Application of information technologies in automatic control. Moscow, DMK Press, 2024, 580 p.



# Применение вибрационного управления для реактора гидроочистки вакуумного газойля

**В.Н. Денисов,**

*д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

**Р.А. Аль Дивани,**

*магистр, ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске  
e-mail: ruslan23312@mail.ru*

**Аннотация.** В данной работе представлен подход к автоматизации процесса гидроочистки вакуумного газойля с помощью вибрационного управления. Он основан на идее применения вибрационного воздействия при регулировке давления в реакторе гидроочистки. В отличие от обычных принципов управления вибрационное управление основано на внешнем вибрационном изменении энергии активации с целью стабилизации процесса гидроочистки в области оптимальной температуры и концентрации процесса гидроочистки. В статье показано, что этот метод дает возможность подобрать режим стабильной работы химического реактора гидроочистки.

**Ключевые слова:** расчет, реактор гидроочистки, газойль, вибрационное управление, математическая модель.

**Summary.** This paper presents an approach to automating the hydrotreating process of vacuum gas oil using vibration control. It is based on the idea of applying vibration to pressure control in a hydrotreating reactor. Unlike conventional control principles, vibration control is based on an external vibrational change in the activation energy in order to stabilize the hydrotreating process in the optimal temperature and concentration of the hydrotreating process. The article shows that this method makes it possible to select the mode of stable operation of a chemical hydrotreating reactor.

**Keywords:** calculation, hydrotreating reactor, gas oil, vibration control, mathematical model.

Имеется ряд классических работ, посвященных вибрационному управлению в технических объектах [1–4]. Сущность этого подхода заключается в стабилизации неустойчивого объекта управления путем подачи на его вход периодического сигнала. При определенном выборе параметров этого периодического сигнала (амплитуды и периода) удастся обеспечить устойчивость состояния равновесия. Отметим, что система без управления в таком случае является разомкнутой и не имеет обратной связи. Использование вибрационного управления позволяет изменить свойства самого объекта и таким образом обеспечить устойчивость реактора.

Процесс гидроочистки вакуумного газойля является непрерывным и пожаровзрывоопасным. Поэтому на производстве следует добиваться наибольшей автоматизации процесса, исключая человеческий фактор из управления для реализации схемы управления по параметрам системы на основе внешнего вибрационного воздействия.

Целью работы является разработка схемы вибрационного управления реактором гидроочистки для получения сырья улучшенного качества путем стабилизации процесса гидроочистки в реакторе с помощью вибрационного управления.

Задача заключается в том, чтобы с помощью вибрационного воздействия на давление внутри реактора гидроочистки минимизировать колебания давления в системе, так как в процессе работы реактора в момент смещения катализатора и сырья происходит реакция разрыва связей (точка неустойчивости) углерода с серой, углерода с азотом и углерода с кислородом, тем самым происходят колебания давления на слое катализатора, изменение температуры, снижение скорости и, как следствие этого, падение производительности, что приводит к значительному уменьшению срока службы катализатора и его активности, что влияет на качество самого продукта.

Для поставленной задачи предлагается технологическая схема гидроочистки вакуумного газойля с вибрационным управлением, представленная на рис. 1.

В составе схемы предусматривается использовать следующее оборудование: клиновую задвижку

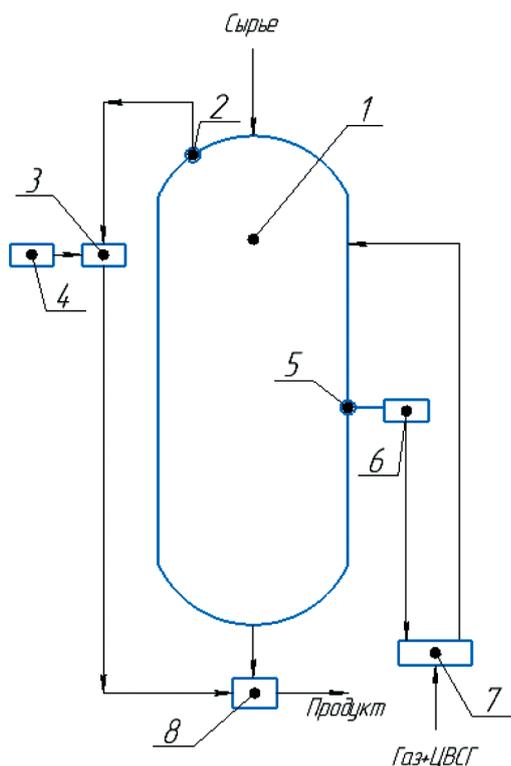


Рисунок 1. Технологическая схема реактора с использованием вибрационного управления

с электроприводом, регулятор давления, дозирующий насос, датчики температуры и давления.

Принцип действия:

- сигнал с датчика 2 для измерения давления внутри системы поступает в регулятор давления 3, на который воздействует сигнал вибрационного генератора 4;

- сигнал с вибрационного регулятора 3 используется в электроприводе клиновой задвижки 8 для стабилизации давления, влияя вибрационным сигналом на положение заслонки клиновой задвижки, тем самым меняя скорость потока, которая регулирует параметры давления до заданного значения в 3 Мпа;

- контроль температуры осуществляется датчиком температуры 5, который подает сигнал на регулятор 6, сигнал от которого поступает в дозирующий насос 7, регулирующий подачу хладагента для стабилизации температуры в 653 К.

Для управления электроприводом клиновой задвижки предлагается использовать математическую модель реактора с вибрационным генератором, в которую входят данные материального и теплового баланса. Данная модель позволяет моделировать изменение концентрации в системе реактора в момент разделения всех примесей вакуумного газойля. Так как концентрация напрямую зависит от давления и температуры, модель

позволяет учитывать изменение концентрации за все время работы реактора.

Математическая модель принимается в виде:

$$\frac{dc}{dt} = -r_1(c, T) + \frac{1}{\tau}(c_0 - c) \quad (1)$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{q}{c_p} \cdot r_1(c, P, T) + \frac{1}{\tau}(T_{ux} - T) + \frac{kF}{c_p}(T_{cm} - T),$$

где  $c, c_0$  – концентрация реакционной смеси, соответственно, на входе в реактор и в реакторе;  $T_{ux}, T, T_{cm}$  – температура на входе в реактор, в реакторе и стенки реактора;  $P$  – давление в реакторе,  $r_1(c, T) = K \cdot e^{-\frac{E_1}{RT}} \cdot |c|, r_2(c, T) = K \cdot e^{-\frac{E_2}{RT}} \cdot |c|, m, n$ ,  $m$  и  $n$  – скорости химических реакций;  $K$  – предэкспоненциальный множитель;  $q$  – тепловой эффект реакции;  $E_1, E_2(P) = E - \alpha(P - P_0)$  – энергии активации;  $\alpha$  – удельный объем активации;  $n$  и  $m$  – порядки химических реакций;  $\tau$  – время пребывания реакционной смеси в реакторе;  $УУАУУ_{ср}$  – удельная теплоемкость реакционной смеси;  $k$  – коэффициент теплопередачи через стенку реактора;  $F$  – поверхность теплообмена.

Для успешной работы программы были рассчитаны и подобраны все параметры математической модели. Концентрация реакционной смеси вычисляется по формуле:

$$C = \frac{m \cdot 1000}{V \cdot M} \quad (2)$$

где  $m$  – масса сырья(кг),  $V$  – объем сырья ( $m^3$ ),  $M$  – молярная масса сырья, г/моль.

$$C_0 = \frac{149150 \cdot 1000}{370 \cdot 161,5} = 2496 \text{ моль/м}^3 \text{ на входе в реактор;}$$

$$C = \frac{129200 \cdot 1000}{370 \cdot 161,5} = 2162 \text{ моль/м}^3 \text{ в реакторе.}$$

Скорость движения сырья в трубопроводе определяется по формуле:

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} = 0,19 \text{ м/с}, \quad (3)$$

где  $V$  – скорость движения, м/с,  $G$  – объемный расход сырья,  $m^3/сек$ ,  $\pi$  – число пи, математическая константа,  $d$  – внутренний диаметр трубопровода, м.

Тем самым находится время пребывания сырья в реакторе:

$$\tau = \frac{V_p}{G} = \frac{162}{0,19} = 852 \text{ сек}, \quad (4)$$

где  $V_p$  – объем реактора в  $m^3$ ,  $G$  – объемный расход сырья,  $m^3/сек$ .



Температура:  $T_{\text{ух}} = 380^\circ = 653 \text{ K}$  – температура на входе в реактор,  $T = 392^\circ = 665 \text{ K}$  – температура в реакторе,  $T_{\text{ст}} = 350^\circ = 623 \text{ K}$  – температура на стенках реактора.

Давление:  $P = 3 \text{ МПа} = 3\,000\,000 \text{ Па}$  – давление в реакторе,  $P_{\text{крит}} = 5 \text{ Мпа} = 5\,000\,000 \text{ Па}$  – критическое давление в реакторе.

Тепловой эффект реакции вычисляется по формуле:

$$q = \frac{m \cdot C \cdot \Delta T}{n} = \frac{149150 \cdot 1900 \cdot 12}{403} = 8430 \text{ кДж/кг} \cdot \text{K}, \quad (5)$$

где  $q$  – тепловой эффект реакции, кДж/кг·К,  $m$  – масса вещества, кг,  $C$  – тепловая емкость вещества, Дж/кг·К,  $\Delta T$  – изменение температуры в градусах К,  $n$  – количество вещества.

Удельная теплоемкость реакционной смеси (газойля) [4].

$$C_p = 1900 = \text{Дж/кг} \cdot \text{K}.$$

Реакция в реакторе первого прядка  $n$  и  $m = 1$ . Универсальная газовая постоянная  $R = 8,31 \text{ Дж/}$  (моль·К).

Объем никель-молибденового катализатора находится по формуле:

$$V_{\text{к}} = D_{\text{к}} \cdot \Pi_{\text{к}} \cdot B_{\text{к}}, \quad (6)$$

где  $D_{\text{к}}$  – длина катализатора в реакторе;

$\Pi_{\text{к}}$  – ширина катализатора в реакторе;

$B_{\text{к}}$  – высота катализатора в реакторе.

$$V_{\text{к}} = 9 \cdot 4,5 \cdot 4,5 = 182,25 \text{ м}^3$$

Поверхность теплообмена  $F$  равна площади частиц катализатора в реакторе:

$$F = 2S(\text{осн}) + S(\text{бок}) = 2\pi R^2 + 2\pi RH, \quad (7)$$

$$F = 2 \cdot 3,14 \cdot 2,25^2 + 3,14 \cdot 2,25 \cdot 9 = 95 \text{ м}^2.$$

Коэффициент теплопередачи через стенку реактора  $k$  определяется по формуле:

$$k = \frac{Q}{F} \cdot \Delta t_{\text{cp}}, \quad (8)$$

где  $Q$  – количество тепла, выделяемое при гидрировании непредельных углеводородов, равно  $126\,000 \text{ кДж} = 35\,000 \text{ Вт}$ ,  $\Delta t_{\text{cp}}$  – разность температур на стенке реактора и в реакторе в градусах К;

$F$  – поверхность теплообмена в  $\text{м}^2$ .

Иначе говоря,

$$k = \frac{35000}{95} \cdot 12 = 4421 \frac{\text{В} \cdot \text{К}}{\text{м}^2}.$$

Мерой активности катализатора в реакции гидрообессеривания служит константа скорости реакции  $k$ , рассчитанная по уравнению реакции псевдопервого порядка:

$$\frac{K(n-1)}{W} = \frac{1}{S^{n-1}} - \frac{1}{S_0^{n-1}}, \quad (9)$$

где  $W$  – объемная скорость подачи сырья,  $S$  и  $S_0$  – содержание серы в гидрогенизате и исходном сырье, %,  $n = 1,6$  [4].

Наиболее стабильны при гидроочистке тиофеновые соединения, при условии, что вся остальная сера (0,58% масс. на сырье) в гидрогенизате – тиофеновая, а остальные сероорганические соединения разлагаются полностью.

При этом

$$S = 0,58 \text{ мас.} \% = 865 \text{ кг},$$

$$S_0 = 1,588 \text{ мас.} \% = 2368 \text{ кг},$$

$$K_c = \frac{K(n-1)}{W} = \frac{1}{S^{n-1}} - \frac{1}{S_0^{n-1}} = 3,39 \cdot 10^{-5} \text{ кг/с}.$$

По уравнению Аррениуса находится предэкспоненциальный множитель:

$$K_c = K_a \cdot e^{-\frac{E}{RT}}, \quad (10)$$

где  $K_c$  – константа скорости реакции кг/с,  $E$  – энергия активации Дж/моль, универсальная газовая постоянная Дж/моль·К,  $T$  – температура в К.

$$K_a = \frac{3,39 \cdot 10^{-5}}{2,7^{-\frac{162000}{8,31 \cdot 665}}} = 1,49 \cdot 10^8.$$

По рассчитанным параметрам с помощью программного пакета Maple 6 осуществлено моделирование и изучение генератора вибрационных колебаний, подающего вибрационный сигнал на электропривод клиновой задвижки, для поддержания устойчивого давления в реакторе на протяжении всего процесса гидроочистки.

Было проведено 11 опытов, 1 без вибрационного управления и 10 с различной частотой и нагрузкой, чтобы получить оптимальный результат. В ходе эксперимента были получены данные, представленные в таблице.

Самым эффективным получился опыт 2 с частотой 1 Гц и нагрузкой 3,001 Мпа. В данном эксперименте за все время работы концентрация в реакторе составляла 2492,871 единицы, что входит в диапазон 2196–2496 моль/м<sup>3</sup>, а температура за все время работы не изменилась. Опыт номер 11 был без вибрационного воздействия. Получено, что концентрация, давление и температура за все время работы внутри реактора изменяются.

Для наглядности построим два графика зависимости концентрации от времени, без вибрационного управления (рис. 1) и самый эффективный с вибрационным управлением (рис. 2).

По графику рис. 1 видно, как во время реакции концентрация изменяется хаотически, непред-



Полученные данные математической модели

№ опыта	Частота, Гц	Нагрузка, МПа	Концентрация в точке неустойчивости	Концентрация за все время работы	Температура в точке неустойчивости, К	Температура за все время работы, К	Время, за которое температура становится постоянной, с
1	0,1	3,001	2495,987	2484,871	664,987	664,999	0,3
2	1	3,001	2495,912	2492,871	664,999	664,999	0,25
3	10	3,001	2495,989	2484,871	664,987	664,987	0,03
4	50	3,001	2495,964	2484,871	664,999	664,999	0,1
5	100	3,001	2495,964	2484,871	664,999	664,999	0,1
6	20	3,005	2496,495	2485,056	1070,798	664,999	0,1
7	1	3,010	2499,897	2487,024	7377,540	664,999	0,25
8	10	3,010	2497,786	2428,178	2527,669	664,999	0,3
9	13	3,013	2502,507	2487,983	3567,474	664,999	0,25
10	1	3,100	2690,655	2356,588	1517,999	664,999	0,2
11	-	3-5	2196-2496	2196-2496		653-665	-

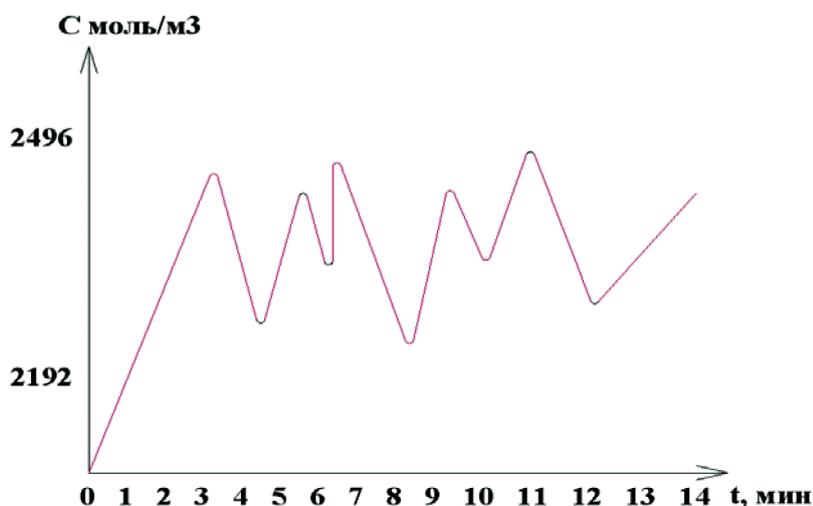


Рисунок 1. Зависимость концентрации и времени в реакторе без вибрационного управления

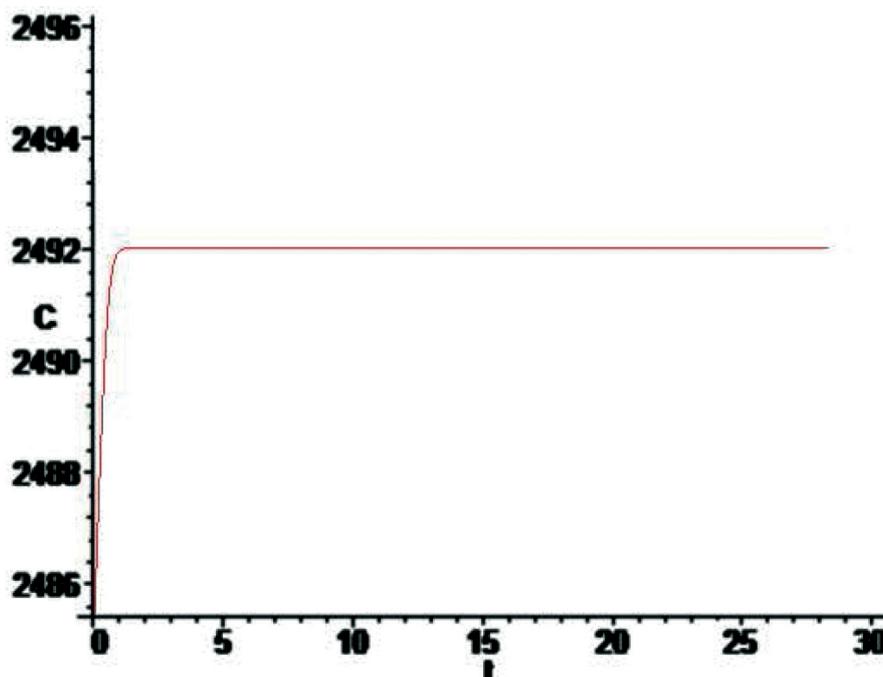


Рисунок 2. Зависимость концентрации и времени в реакторе с вибрационным управлением



сказуемо, но в своем рабочем диапазоне. Все это приводит к ухудшению состояния катализатора, уменьшает срок его службы, и нужен постоянный контроль и обслуживание реактора. График на рис. 2 свидетельствует о быстром выходе процесса в стационарный режим.

Таким образом, с помощью вибрационного управления получаем постоянную концентрацию за все время протекания реакции. Тем самым получаем постоянную температуру, возможность автоматизации системы, увеличиваем срок службы катализатора и улучшаем конечные показатели готового продукта. Иначе говоря, с помощью вибрационного управления имеется возможность автоматизации процесса гидроочистки для устойчивой работы реактора гидроочистки, увеличения срока работы катализатора и получения продукта с более качественными характеристиками.

#### Источники

1. Софиев А.Э., Трахтенберг А.М., Кондратьев Ю.Н. Стабилизация температурного режима реактора полимеризации этилена с использованием пульсирующего управления: Синтез свойства переработки полиолефинов: Сб. науч. трудов ОНПО Пластполимир. Л., 1984. С. 52–59.
2. Меерков С.М. Принципы вибрационного управления: теория и применение // Автоматика и телемеханика. 1973. № 2. С. 34–43.
3. Волосов В.М. Усреднение в системах обыкновенных дифференциальных уравнений // УМН. 1962. Т. 17. № 6. С. 3–126.
4. Софиев А.Э., Трахтенберг А. М. Геометрическая интерпретация эффекта вибрационного управления: Нестационарные процессы в катализе // Материалы 3-й всесоюзной конференции. Т. 1. Новосибирск, 1986. С. 42, 43.

#### References

1. Sofiev A.E., Trakhtenberg A.M., Kondratiev Yu.N. Stabilization of the temperature regime of the ethylene polymerization reactor using pulsating control: Synthesis of the properties of polyolefin processing: Coll. scientific. works of ONPO Plastpolimir. L., 1984. Pp. 52–59.
2. Meerkov S.M. Principles of vibration control: theory and application // Automation and Telemechanics. 1973. No. 2. Pp. 34–43.
3. Volosov V.M. Averaging in systems of ordinary differential equations // UMN. 1962. Vol. 17. No. 6. Pp. 3–126.
4. Sofiev A.E., Trakhtenberg A.M. Geometric interpretation of the vibration control effect: Non-stationary processes in catalysis // Proceedings of the 3rd All-Union Conference. Vol. 1. Novosibirsk, 1986. Pp. 42, 43.



УДК 658.562

# Управление качеством на разных этапах изготовления продукции легкой промышленности с применением цифровых инструментов

## О.А. Голубева,

канд. техн. наук, доцент кафедры управления качеством Донского государственного технического университета; г. Ростов-на-Дону  
e-mail 1354565@mail.ru

## В.П. Димитров,

д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой управления качеством, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, действительный член Академии проблем качества, почетный профессор Донского государственного технического университета; г. Ростов-на-Дону

## К.А. Швецов,

аспирант Донского государственного технического университета; г. Ростов-на-Дону

## В.В. Цыганкова,

бакалавр кафедры управления качеством Донского государственного технического университета; г. Ростов-на-Дону

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы управления качеством на всех этапах изготовления продукции легкой промышленности. В качестве объекта исследования выбрана обувь среднего сегмента в России – мужские полуботинки. Проведен анализ методов контроля качества, применяемых на различных стадиях технологического процесса, и предложена интеграция цифровых инструментов в систему управления качеством. Представлены

результаты апробации разработанной программы QualityCom, которая позволяет систематизировать и автоматизировать применение методов статистического контроля качества в обувной промышленности.

**Ключевые слова:** обувное производство, мужские полуботинки, цифровые инструменты, контроль качества, статистические методы.

**Summary.** The article examines the issues of quality management at all stages of manufacturing light industry products; the object of the study is the footwear of the middle segment in Russia, men's half-boots. An analysis of the quality control methods used at various stages of the technological process is carried out, and the integration of digital tools into the quality management system is proposed. The results of testing the developed QualityCom program are presented, which allows systematizing and automating the use of statistical quality control methods in the footwear industry.

**Keywords:** shoe manufacturing, men's low shoes, digital tools, quality control, statistical methods.

## Введение

Легкая промышленность – одна из перспективных областей развития экономики. По данным Министерства промышленности и торговли РФ, за 2024 г. произошел прирост в данной области на 20% по сравнению с 2023 г. [1]. Развитие легкой промышленности и импортозамещение продукции в РФ входит в программу стратегии развития государства с 2014 г. и является сегодня актуальной задачей. Вопросы улучшения качества продукции выходят на новый уровень проектирования продукции с помощью IT-технологий. Обувная промышленность в секторе легкой промышленности занимает 16% от общего выпуска продукции в год.

Современное обувное производство предъявляет высокие требования к качеству продукции,



так как дефекты на любом этапе изготовления могут привести к браку, снижению конкурентоспособности на рынке. В условиях Индустрии 4.0 все большее значение приобретают цифровые технологии, позволяющие автоматизировать контроль качества, снизить влияние человеческого фактора и оптимизировать производственные процессы.

Исследованием в области цифровизации технологических процессов производства продукции занимались ученые О.И. Старых, А.В. Высоцкая, А.О. Гусев, К.В. Захарченков, В.Г. Аитов, Д.Ю. Журавлев, И.В. Костюк, В.Д. Чертовский, Л.А. Романова, А.В. Лебедев и ряд других [1–10].

В данной статье в качестве объекта исследования рассматривается процесс изготовления продукции легкой промышленности на примере мужских полуботинок с точки зрения управления качеством. Анализируются применяемые методы контроля, а также представляются результаты апробации системы QualityCom, разработанной для интеграции статистических инструментов контроля качества на всех этапах производства продукции [11].

Цель исследования – адаптация методов статистического контроля качества к процессу изготовления мужских полуботинок и их интеграция в цифровую систему QualityCom [12].

### Методология исследования

Исследование основано на анализе производственного процесса изготовления мужских полуботинок, выделении его ключевых этапов и применении методов управления качеством на каждом из них. Для апробации предложенной методики была разработана цифровая платформа QualityCom, позволяющая систематизировать и автоматизировать процесс контроля качества.

Анализируемые методы включают:

- диаграмму Исикавы – для выявления причин дефектов;
- контрольные карты Шухарта – для мониторинга стабильности процессов;
- FMEA-анализ – для оценки рисков возникновения дефектов;

- диаграмму Парето – для определения наиболее критичных проблем;
- поточную диаграмму – для визуализации перемещения данных между процессами;
- 5S – для рациональной организации рабочего места сотрудника;
- контрольные карты несоответствий – для выявления и предупреждения нарушений в области качества продукции;
- диаграмму связей – для структурирования данных;
- статистический контроль качества – для мониторинга и улучшения качества продукции;
- методы экспертной оценки – для анализа качества кожевенного сырья;
- диаграмму Ганта – для планирования процессов контроля качества;
- метод анализа иерархий – для выявления приоритета;
- SWOT-анализ – для анализа сильных и слабых сторон, возможностей и угроз продукции.

Для апробации метода было проведено тестирование QualityCom на реальном производственном объекте с оценкой эффективности применения цифровых инструментов управления качеством.

### Результаты исследования

1. Анализ управления качеством на разных этапах изготовления полуботинок. Изготовление мужских полуботинок включает несколько ключевых этапов, на каждом из которых применяются различные методы контроля качества (см. таблицу).

#### Апробация программы QualityCom на обувном предприятии на этапе маркетинга

Для проверки эффективности предложенной методики была проведена апробация программы QualityCom во вкладке «Статистические методы» на этапе маркетинга для изготовления мужских полуботинок, так как данная модель является составным элементом офисного стиля и позиционируется на рынке легкой промышленности средним сегментом в употреблении обуви.

Программа QualityCom позволила систематизировать статистические данные от потребителей

### Применение методов управления качеством на этапах изготовления полуботинок

Этап ЖЦИ	Применяемые цифровые инструменты качества
Маркетинг	Метод анализа иерархий, экспертная оценка, SWOT-анализ
Конструирование модели	Диаграмма Исикавы, SWOT-анализ, экспертная оценка
Раскрой деталей	Поточная диаграмма, контрольные карты несоответствий
Сборка верха и подкладки обуви	Диаграмма Парето, контрольные карты Шухарта, 5S
Затяжка и крепление подошвы	FMEA-анализ, диаграмма связей, статистический контроль качества
Финишная отделка и упаковка	Метод экспертной оценки, SWOT-анализ, диаграмма Ганта



и осуществить выбор приоритетных показателей, влияющих на осуществление покупки мужских полуботинок. В качестве статистических данных выбраны три основных критерия оценивая (комфорт, дизайн, цена) и вариации конструкции мужских полуботинок (рис. 1). С помощью метода анализа иерархий в программе QualityCom определена приоритетная модель обуви среди потребителей. Для проведения анализа собраны статистические данные от потребителей по четырем видам конструкций полуботинок, на основании которых в качестве объекта исследования выбрана модель на шнурках, поскольку данная модель является бессменной классикой с лаконичным дизайном комфортным во время носки и с приемлемой ценой.

После выбора конструкции модели в программе QualityCom осуществляется подбор материалов для создания качественной обуви, соответствующей требованиям потребителей. На основе статистических данных, полученных при опросе потребителей, осуществлен выбор приоритетных материалов на детали верха, подкладки и подошвы. В качестве наиболее приемлемых выбраны эталонные кожи для верха и подкладки обуви в виде яловой и хромового дубления, на детали подошвы – полиуретан и термопластичная резина. По результатам статистической обработки данные материалы являются более приоритетными среди потребителей, для осуществления дальнейшего подбора использовался «Метод экспертной оценки» во вкладки программы QualityCom (рис. 2–4).

Для каждой категории материалов пятью экспертами (технологами) рассматривались физико-механические показатели, возможности технологического процесса и наличие необходимого оборудования на предприятии. В соответствии были проставлены балльные значения от 1 до 10 в

порядке возрастания, где единице присвоен минимальный показатель, а 10 – максимальный, в связи с этим выявили, что показатели свыше 7 баллов являются приемлемыми для применения в обуви мужских полуботинок. В результате исследования выбраны кожи хромового дубления для применения на детали верха и подкладки, материал на подошву – полиуретан.

На завершающей стадии этапа маркетинга осуществляется анализ выбранной модели и подобранных материалов с помощью такого метода, как SWOT-анализ (рис. 5). Данный метод позволяет определить сильные и слабые стороны желаемого изделия, а также его возможности и потенциальные угрозы и разработать стратегию для запуска на производство с минимальными дефектами.

Для проведения анализа необходимо составить перечень факторов среды, которые впоследствии распределяются на четыре группы, перечисленные ранее. Каждому фактору среды экспертным образом присваивается оценка по трем показателям: важность для отрасли, влияние на организацию и направленность влияния, для которых существует определенная шкала оценивания:

- важность для отрасли: 1 – слабая, 2 – умеренная, 3 – большая;
- влияние на организацию: 1 – слабое, 2 – умеренное, 3 – сильное;
- направленность влияния: +1 – позитивное, –1 – негативное.

В результате использования SWOT-анализа в программе QualityCom автоматически формулируется степень важности факторов в производстве мужских полуботинок. По итогам можно сделать вывод о том, каким факторам среды следует уделить особое внимание и разработать для них стратегию производственного процесса обуви.

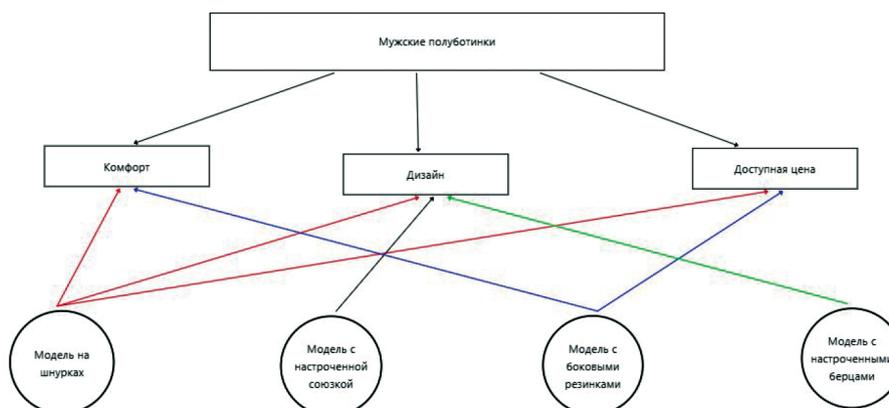


Рисунок 1. Метод анализа иерархий



	Кожа хромового дубления	Яловая кожа
Эксперт №1	7	6
Эксперт №2	8	9
Эксперт №3	6	4
Эксперт №4	10	8
Эксперт №5	9	7

Отсутствуют равные значения рангов  
 $S = 18$   
 $W = 0,44$   
 $Z = NaN$   
 $v1 = 0,6$   
 $v2 = 2,4$

Рисунок 2. Метод экспертной оценки материала верха обуви

	Яловая кожа	Кожа хромового дубления
Эксперт №1	8	7
Эксперт №2	7	9
Эксперт №3	6	10
Эксперт №4	9	8
Эксперт №5	5	5

Отсутствуют равные значения рангов  
 $S = 8$   
 $W = 0,64$   
 $Z = 0,9$   
 $v1 = 0,6$   
 $v2 = 2,4$

Рисунок 3. Метод экспертной оценки материала подкладки обуви

	Полиуретан	Термопластичная резина
Эксперт №1	10	6
Эксперт №2	9	3
Эксперт №3	8	7
Эксперт №4	2	1
Эксперт №5	7	2

Отсутствуют равные значения рангов  
 $S = 144,5$   
 $W = 0,56$   
 $Z = NaN$   
 $v1 = 0,6$   
 $v2 = 2,4$

Рисунок 4. Метод экспертной оценки материала подошвы обуви

В качестве стратегии необходимо:

- сдерживать среднестатистические цены на рынке обуви;
- цикличный мониторинг прямых конкурентов в производстве обуви – мужских полуботинок;
- выстроить надежные взаимоотношения с поставщиком материалов для производства обуви

В результате проведенного анализа проектирование мужских полуботинок на этапе маркетинга можно сделать вывод, что систематизация цифровых инструментов позволила выстроить алгоритм работы маркетингового отдела, позволяющего эффективно планировать ресурс и заблаговременно сформулировать стратегию по минимизации ри-



Фактор среды	Важность для отрасли	Важность на организацию	Направленность влияния	Степень важности	
Долгий срок службы	3	2	+1	6	0
Эластичность и высокие адаптационные свойства	3	3	+1	9	0
Хорошая вентиляция	3	3	+1	9	0
Дорогой уход	2	2	+1	4	0
Сочетание стиля и комфорта	3	2	+1	6	0
Цена	3	3	-1	-9	0
Производство качественной обуви	3	3	+1	9	0
Конкуренция	3	3	-1	-9	0
Этический характер	1	1	-1	-1	0
Риски поставок	2	3	-1	-6	0
Экономическая нестабильность	2	3	-1	-6	0
Ошибки продажи	3	3	+1	9	0

Рисунок 5. SWOT-анализ

сков и повышению качества готового изделия. По итогам проведенного исследования проектирование модели становится управляемым процессом за счет сокращения срока изготовления изделия.

### Результаты апробации и оценка эффективности

Проведенный эксперимент показал, что применение QualityCom на всех этапах изготовления полуботинок позволило:

- снизить уровень дефектов на 20% за счет раннего выявления потенциальных проблем;
- сократить время на контроль качества на 15% благодаря автоматизации аналитических процессов;
- улучшить управление поставками за счет применения методов экспертной оценки и анализа рисков.

Эти результаты подтверждают эффективность применения цифровых инструментов управления качеством в обувном производстве.

### Заключение

Внедрение цифровых методов контроля качества в обувной промышленности открывает новые перспективы для повышения эффективности производственных процессов. Апробация системы QualityCom на производственной линии по изготовлению мужских полуботинок показала, что использование автоматизированных инструментов

контроля позволяет снизить уровень дефектов, сократить временные затраты на анализ качества и повысить управляемость процессами.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются:

- разработка предиктивных алгоритмов выявления дефектов на основе машинного обучения;
- интеграция QualityCom с ERP-системами для управления цепочками поставок;
- создание модуля для анализа потребительских отзывов и их влияния на доработку моделей обуви.

Применение цифровых инструментов качества становится неотъемлемой частью современного обувного производства, обеспечивая его конкурентоспособность и соответствие международным стандартам.

### Источники

1. Лебедев А.В. Разработка эффективного метода организации программного обеспечения для автоматизированных систем управления технологическими процессами производства изделий микроэлектроники: специальность 2.3.3 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами»: Дис. ... канд. техн. наук / Лебедев Александр Владимирович; Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники». М., 2022. 130 с. – Текст: непосредственный.

2. Романова Л.А. Разработка инновационных технологических процессов производства обуви на базе предприятий, расположенных в регионах ЮФО и СКФО: специальность 05.19.05 «Технология кожи и меха»: Автореф. дис. ... техн. наук / Романова Людмила Анатольевна; Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса. Казань, 2012. 20 с. Текст: непосредственный.

3. Чертовский В.Д. Модели процессов автоматизированного управления промышленным производством в условиях быстро изменяющегося спроса: специальность 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям)»: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / Чертовский Владимир Дмитриевич; Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет (ЛЭТИ). СПб., 2003. 31 с. Текст: непосредственный.

4. Костюк И.В. Интеллектуальная поддержка автоматизированной системы управления инструментарием на машиностроительном предприятии: специальность 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (машиностроение)»: Дис. ...

канд. техн. наук / Костюк Иван Викторович; Камская государственная инженерно-экономическая академия. Набережные Челны, 2009. 135 с. Текст: непосредственный.

5. Журавлев Д.Ю. Разработка автоматизированной системы информационной поддержки управления качеством авиационного производства с использованием CALS-технологий: специальность 05.13.12 «Системы автоматизации проектирования (в машиностроении)»: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / Журавлев Дмитрий Юрьевич; Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С.П. Королева (СГАУ). Самара, 2006. 20 с. Текст: непосредственный.

6. Аитов В.Г. Разработка интегрированной автоматизированной системы управления рыбоперерабатывающим предприятием с применением универсального программно-аппаратного комплекса: специальность 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в пищевой промышленности)»: Дис. ... канд. техн. наук / Аитов Василий Григорьевич; Московский государственный университет пищевых производств (МГУПП). М., 2018. 212 с. Текст: непосредственный.

7. Захарченков К.В. Разработка метода, моделей и технологии оценки эффективности процессов управления в корпоративных информационных системах: специальность 05.13.10 «Управление в социальных и экономических системах»: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / Захарченков Константин Васильевич; Брянский государственный технический университет (БИТМ). Брянск, 2014. 19 с. Текст: непосредственный.

8. Гусев А.О. Разработка концепции системы автоматизированного проектирования обуви с применением облачных технологий: специальность 05.19.05 «Технология кожи, меха, обувных и кожевенно-галантерейных изделий»: Дис. ... канд. техн. наук / Гусев Александр Олегович; Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство). М., 2022. 184 с. ект: непосредственный.

9. Высоцкая А.В. Информационное обеспечение автоматизированного проектирования технологического процесса сборки обуви ниточных методов крепления: специальность 05.19.05 «Технология кожи, меха, обувных и кожевенно-галантерейных изделий»: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / Высоцкая Анна Вацлавовна; Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна. СПб., 2011. 16 с. Текст: непосредственный.

10. Старых О.И. Информационное обеспечение автоматизированного проектирования технологического процесса сборки обуви: специальность 05.19.06 «Технология обувных и кожевенно-галантерейных изделий»: Дис. ... канд. техн. наук / Старых Оксана Игоревна; Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна. СПб., 2009. 196 с. Текст: непосредственный.

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025610031. «Qualitycom» / Голубева О.А., Доний А.С., Шевцов К.А. Заявка № 2024692104. Дата поступления 19 декабря 2024 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 9 января 2025 г.

12. Functioning of shoe production facilities based on automated control systems / Golubeva O., Pogorelova A., Kreinin V., Dimitrov V. Статья в сборнике трудов конференции. 2023.

## References

1 Lebedev A.V. Development of an effective method for organizing software for automated control systems for technological processes of microelectronics production: specialty 2.3.3 «Automation and control of technological processes and production»: dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Lebedev Alexander Vladimirovich; National Research University «Moscow Institute of Electronic Technology». – Moscow, 2022. – 130 p. – Text: direct.

2 Romanova L.A. Development of innovative technological processes for the production of footwear based on enterprises located in the regions of the Southern and North Caucasian Federal Districts: specialty 05.19.05 «Leather and Fur Technology»: Abstract of a dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Romanova Lyudmila Anatolyevna; South-Russian State University of Economics and Service. – Kazan, 2012. – 20 p. – Text: direct

3 Chertovsky V.D. Models of automated control processes in industrial production under conditions of rapidly changing demand: specialty 05.13.06 «Automation and control of technological processes and production (by industry)»: abstract of a dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Chertovsky Vladimir Dmitrievich; St. Petersburg State Electrotechnical University (LETI). – St. Petersburg, 2003. – 31 p. – Text: direct.

4 Kostyuk I.V. Intelligent support of the automated tool management system at a mechanical engineering enterprise: specialty 05.13.06



«Automation and management of technological processes and production (mechanical engineering)»: dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Kostyuk Ivan Viktorovich; Kama State Engineering and Economics Academy. – Naberezhnye Chelny, 2009. – 135 p. – Text: direct.

5 Zhuravlev D.Yu. Development of an automated information support system for quality management in aircraft manufacturing using CALS technologies: specialty 05.13.12 «Automated design systems (in mechanical engineering)»: abstract of a dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Zhuravlev Dmitry Yuryevich; Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolev (SSAU). – Samara, 2006. – 20 p. – Text: direct.

6 Aitov V.G. Development of an integrated automated control system for a fish processing enterprise using a universal hardware and software complex: specialty 05.13.06 «Automation and control of technological processes and production (in the food industry)»: dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Aitov Vasily Grigorievich; Moscow State University of Food Production (MGUPP). – Moscow, 2018. – 212 p. – Text: direct.

7 Zakharchenkov K.V. Development of a method, models and technology for assessing the effectiveness of management processes in corporate information systems: specialty 05.13.10 «Management in social and economic systems»: abstract of a dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Zakharchenkov Konstantin Vasilievich; Bryansk State Technical University (BITM). – Bryansk, 2014. – 19 p. – Text: direct.

8 Gusev A.O. Development of the concept of an automated footwear design system using cloud technologies: specialty 05.19.05 «Technology of leather, fur, footwear and leather goods»: dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Gusev Alexander Olegovich; Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art). – Moscow, 2022. – 184 p. -Text: direct.

9 Vysotskaya A.V. Information support for automated design of the technological process of shoe assembly using thread fastening methods: specialty 05.19.05 «Technology of leather, fur, shoe and leather goods»: abstract of a dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Vysotskaya Anna Vaclavovna; St. Petersburg State University of Technology and Design. – St. Petersburg, 2011. – 16 p. – Text: direct.

10 Starykh O.I. Information support for automated design of the technological process of shoe assembly: specialty 05.19.06 «Technology of shoe and leather goods»: dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Starykh Oksana Igorevna; St. Petersburg State University of Technology and Design. – St. Petersburg, 2009. – 196 p. -Text: direct

11 Certificate of state registration of computer program No. 2025610031. «Qualitycom» / Golubeva O.A., Doniy A.S., Shevtsov K.A. – Application No. 2024692104. Date of receipt December 19, 2024. Registered in the Register of computer programs on January 9, 2025.

12 Functioning of shoe production facilities based on automated control systems / Golubeva O., Pogorelova A., Kreinin V., Dimitrov V. – Article in the conference proceedings. Publication year 2023



# Страничка ЦСМ



# Опыт реализации образовательно-просветительского проекта

## П.Л. Овчаренко,

генеральный директор  
ФБУ «Тест-С.-Петербург»,  
государственный советник РФ 2 класса

## А.А. Алёхичева,

начальник отдела управления делами  
и внешних связей  
ФБУ «Тест-С.-Петербург», магистр  
юриспруденции СПбГУ

Одной из приоритетных корпоративных ценностей ФБУ «Тест-С.-Петербург» (ЦСМ Росстандарта) является направление «Образование и просвещение». Учреждение с особым вниманием относится к реализуемому с 2022 г. образовательно-просветительскому проекту, в котором участвуют школьники, студенты и практикующие специалисты.

За это время более 600 экскурсантов познакомились с экспозицией постоянно действующей выставки Учреждения «История поверочного дела», посетили испытательные и метрологические лаборатории, пообщались с профессионалами в своем деле. В рамках проекта работники ФБУ «Тест-С.-Петербург» проводят также и выездные лекции для студентов профильных специально-



Награждение победителей олимпиады по метрологии в Санкт-Петербургском горном университете императрицы Екатерины II



Президиум церемонии награждения победителей олимпиады по метрологии в Санкт-Петербургском горном университете императрицы Екатерины II

стей образовательных учреждений Северо-Западного региона.

Учитывая кадровый дефицит профильных специалистов и высокую конкуренцию на рынке труда, ФБУ «Тест-С.-Петербург» в рамках образовательно-просветительского проекта разработало программу и организовало проведение первой в России студенческой олимпиады по метрологии и профессионального конкурса «Тотальная метрология» для практикующих специалистов.

Первая в России олимпиада по метрологии для студентов проведена в Санкт-Петербурге в рамках сотрудничества с Санкт-Петербургским горным университетом императрицы Екатерины II. Студенты одного из ведущих инженерных вузов проверили свои знания в области обеспечения единства измерений. Этот уникальный пилотный проект вызвал огромный резонанс.

Санкт-Петербургский пожарно-спасательный колледж стал первым в числе средних специальных учебных заведений Санкт-Петербурга, организовавших на своей площадке проведение олимпиады для учащихся 2-го курса – будущих специалистов по метрологическому контролю средств измерений. Организаторы постарались сделать все, чтобы олимпиада стала для ребят увлекательным конкурсом, чтобы мир точных измерений виделся им и как строгая система, и как пестрая мозаика интересных фактов, тес-



Награждение победителей олимпиады по метрологии в Санкт-Петербургском пожарно-спасательном колледже

но связанная с повседневной жизнью, историей и культурой.

Участие студентов в профильных олимпиадах играет важную роль в их образовательном и профессиональном развитии. Такие мероприятия не только способствуют углублению знаний в определенной области, но и развивают ряд ключевых навыков, необходимых для построения успешной карьеры. Во-первых, профильные олимпиады предоставляют студентам уникальную возможность применить теоретические знания на практике. Решение сложных задач и участие в конкурсах стимулируют критическое мышление и творческий подход к решению проблем. Это особенно важно в условиях быстро меняющегося мира, где способность адаптироваться и находить нестандартные решения становится решающим фактором успеха. Во-вторых, участие в олимпиадах способствует развитию исследовательских навыков. Студенты учатся анализировать данные и формулировать выводы. Приобретаемые навыки являются основой для дальнейшей научной дея-

тельности и могут значительно повысить конкурентоспособность выпускников на рынке труда. Кроме того, олимпиады создают платформу для обмена опытом и знаниями между студентами из разных учебных заведений. Это способствует расширению контактов и налаживанию связей с единомышленниками, что может быть полезно в будущем при поиске работы или сотрудничестве в научных проектах.

Не менее важным аспектом является то, что участие в профильных олимпиадах положительно сказывается на самооценке студентов. Достижения в конкурсах способствуют повышению уверенности в своих силах и мотивации к дальнейшему обучению. Награды и признание со стороны преподавателей и коллег могут стать мощным стимулом для дальнейшего личностного развития.

ФБУ «Тест-С.-Петербург» ценит активное участие олимпиадников как показатель их заинтересованности в своей профессии и стремления к саморазвитию. Это, безусловно, становится значительным преимуществом при трудоустройстве.

Важным этапом в развитии образовательного-просветительского проекта стало проведение среди работников ФБУ «Тест-С.-Петербург» конкурса «Тотальная метрология», направленного на стимулирование интереса к профессии и проверку уровня знаний в области обеспечения единства измерений.

Дефицит кадров – это одна из наиболее актуальных проблем, с которой сталкиваются компании в современных условиях. Конкуренция в поиске талантливых специалистов возрастает, и организации вынуждены искать новые подходы не только к привлечению, но и к удержанию работников. Одним из эффективных решений этой проблемы является проведение различного рода профессиональных мероприятий. Такие инициативы способствуют укреплению командного духа, повышению мотивации и удовлетворенности работой. Работники чувствуют себя ценными членами команды, что снижает текучесть кадров и способствует созданию здоровой и стабильной атмосферы в коллективе. Кроме того, нематериальные инвестиции в развитие работников через обучение и участие в мероприятиях способствуют повышению их профессиональных навыков. Это не только улучшает качество работы внутри организации, но и создает условия для карьерного роста, что также положительно сказывается на сохранении кадрового состава.

Реализуемые ФБУ «Тест-С.-Петербург» инициативы не только помогают находить талантливую молодежь, но и способствуют созданию сплочен-



Награждение победителей конкурса «Тотальная метрология», ФБУ «Тест-С.-Петербург»



## Корпоративные ценности ФБУ «Тест-С.-Петербург»

ного коллектива, готового к новым вызовам. Инвестируя в развитие своих работников и взаимодействуя с будущими специалистами еще на стадии их обучения, Учреждение закладывает основу для успешного и стабильного развития.

ФБУ «Тест-С.-Петербург» открыто к сотрудничеству в целях масштабирования опыта реализации мероприятий образовательно-просветительского проекта Учреждения со всеми заинтересованными лицами.



УДК 006.83; 621.01; 620.1-1/-9

# О качестве, категориях качества, уровнях качества продукции машиностроения

**В.Н. Протасов,**

*д-р техн. наук, профессор, научный руководитель ООО «НТЦ «Качество-Покрытие-Нефтегаз»; Москва*

**И.О. Романов,**

*канд. техн. наук, доцент, Дальневосточный государственный университет путей сообщения; г. Хабаровск*

**Аннотация.** В статье уточняется философское определение понятия качество продукции машиностроения. Качество продукции – это сущность продукции, определяемая ее свойствами, показателями свойств в заданных условиях создания и использования и количественными или качественными значениями показателей свойств, делающих продукцию определенной и отличающейся от других видов продукции. В статье рассматриваются две категории качества продукции машиностроения: фактическое качество реальной продукции, являющейся результатом производства, и планируемое потребительское качество продукции, удовлетворяющее потребителей по соотношению ее качества и цены. Потребительское качество продукции регламентируют в требованиях к ней. Фактическое качество продукции, изготовленной в соответствии с этими требованиями, должно соответствовать в заданных условиях ее использования потребительскому качеству. Анализируются понятия «уровни фактического и потребительского качества продукции машиностроения», «планирование уровня потребительского качества продукции».

**Ключевые слова:** качество продукции машиностроения, фактическое качество, потребительское качество, показатель фактического качества, критерий потребительского качества, уровень фактического качества, уровни потребительского качества.

**Abstract.** The article specifies the philosophical definition of the concept of quality of engineering

products. Product quality is the essence of the product, determined by its properties, property indicators under the specified conditions of creation and use and quantitative or qualitative values of property indicators that make the product specific and different from other types of products. The article considers two categories of quality of engineering products: the actual quality of real products that are the result of production, and the planned consumer quality of the product that satisfies consumers in terms of the ratio of its quality and price. Consumer quality of products is regulated in the requirements for them. The actual quality of the product manufactured in accordance with these requirements must correspond to consumer quality under the specified conditions of its use. The concepts of «levels of actual and consumer quality of engineering products», «planning the level of consumer quality of products» are analyzed.

**Keywords:** quality of engineering products, actual quality, consumer quality, actual quality indicator, consumer quality criterion, actual quality level, consumer quality levels.

## Введение

Продукция машиностроения, как и любая другая продукция, является результатом производства.

Проблема планирования и обеспечения качества продукции машиностроения на разных стадиях ее жизненного цикла (планирование, проектирование, изготовление, монтаж, эксплуатация, утилизация) была и остается актуальной. Об этом свидетельствуют многочисленные публикации и форумы на эту тему. Сложность решения этой проблемы в значительной мере заключается в различном понимании сущности понятия «качество».

Существует достаточно много противоречивых определений понятия «качество», сформулированных философами и известными специалистами в области качества различной продукции. Некоторые из них приведены далее.

По данным А.В. Гличева, «качество – это существенный признак, свойство, отличающее один предмет от другого или лицо от другого. Степень достоинства, ценности, пригодности вещи, дей-



ствия, соответствия тому, каким они должны быть». Качество – философская категория, выражающая осуществленную определенность объекта, благодаря которой он является именно этим, а не иным. Качество – объективная и всеобщая характеристика объектов, обнаруживающаяся в совокупности их свойств».

В той же работе отмечается, что «качество продукции – совокупность свойств продукции, обуславливающих ее способность удовлетворять определенные потребности народного хозяйства или населения. При этом добавляется, что на практике необходимо знать не только, с каким свойством мы имеем дело, но и его количественную меру».

По мнению Аристотеля, «качеством, с одной стороны, называется видовое отличие сущности, как, например, человек есть некоторое качественно определенное животное, потому что это животное двуногое, а конь – четвероногое; и круг – некоторая качественно определенная фигура, ибо это фигура без углов, так что качеством является относящееся к сущности видовое отличие».

По мнению Гегеля, «качество есть вообще тождественная с бытием непосредственная определенность. Нечто есть благодаря своему качеству то, что оно есть, и, теряя свое качество, оно перестает быть тем, что оно есть».

По мнению А. Фегенбаума в книге «Контроль качества», «качество изделия или услуги можно определить как общую совокупность технических, технологических и эксплуатационных характеристик изделия или услуги, посредством которых изделие или услуга будут отвечать требованиям потребителя или эксплуатации».

В Советском энциклопедическом словаре дается следующее определение «качества»: «качество – философская категория, выражающая существенную определенность объекта, благодаря которой он является именно этим, а не иным. Качество – объективная и всеобщая характеристика объектов, обнаруживающаяся в совокупности их свойств. Качество продукции – совокупность и мера полезности продукции, обуславливающие ее способность все более полно удовлетворять общественные и личные потребности».

В Малом энциклопедическом словаре Ф.А. Брокгауза и И.А. Ефрона формулируется: «Качество – одна из важнейших категорий, совокупность всех свойств, дающих вещи определенность, отличающую ее от всякой другой вещи».

В Словаре русского языка С.И. Ожегова дается двойное толкование качества:

1) «наличие существенных признаков, свойств, особенностей, отличающих один предмет или явление от других»;

2) «то или иное свойство, достоинство, степень пригодности кого-чего-нибудь».

В словаре Вебстера *Merriam-Webster* термин «качество» определен как «особенные и существенные свойства: «природа» вещи; неотъемлемая черта: «свойство» вещи (прочность как качество стали)».

В терминологическом стандарте ГОСТ 18467–79 дается следующее определение: «Качество продукции – совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением».

Согласно стандарту ISO 8402–86 «Управление качеством и обеспечение качества. Словарь»: «Качество – совокупность свойств и характеристик продукции или услуги, которые придают им способность удовлетворить обусловленные или предполагаемые потребности».

По мнению известного специалиста в области менеджмента качества Х.Дж. Харрингтона: «Качество – вещь забавная. Все о нем говорят, все с ним живут, и каждый думает, что знает, что это такое. Но лишь немногие придут к единому мнению об определении качества. Мои твердые взгляды на качество таковы:

– определение «качества»: удовлетворение ожиданий потребителя за цену, которую он может позволить, когда у него возникает потребность;

– определение «высокого качества»: превышение ожиданий потребителя за более низкую цену, чем он предполагает».

В [1] в разделе 2.1 «Требования к системам качества и требования к продукции» указывается, «что семейство стандартов ИСО 9000 проводит различие между требованиями к системам менеджмента качества и требованиями к продукции. «Требования к системам менеджмента качества установлены в [1]. Они являются общими и применимыми к организациям в любых секторах промышленности или экономики независимо от категории продукции».

ГОСТ Р ИСО 9001–2001 не устанавливает требований к продукции.

Согласно [2], требования к продукции могут быть установлены потребителями или организацией исходя из предполагаемых запросов потребителей или требований регламентов. Требования к продукции и в ряде случаев к связанным с ней процессам могут содержаться, например в технических условиях, стандартах на продукцию, стандартах на



процессы, контрактных соглашениях и регламентах».

В соответствии с [3] «качество – степень соответствия присущих характеристик требованиям, где требование – потребность или ожидание, которое установлено, обычно предполагается или является обязательным». В том же стандарте указывается, что «термин качество может применяться с такими прилагательными, как плохое, хорошее или превосходное».

В [4] содержится новое определение понятия качество продукции и услуг: «качество продукции и услуг организации определяется способностью удовлетворять потребителей и преднамеренным или непреднамеренным влиянием на соответствующие заинтересованные стороны. Качество продукции и услуг включает не только выполнение функций в соответствии с назначением и их характеристики, но также воспринимаемую ценность и выгоду для потребителя».

Можно привести еще много определений понятия «качество», но в этом нет необходимости, так как рассмотренных вполне достаточно, чтобы выявить две принципиально различные точки зрения о сущности понятия «качество»: философскую и рыночно-экономическую.

Согласно философской точке зрения, сформулированной Гегелем, качество любого предмета или явления определяется через его свойства, которые определяют предмет как таковой и отличают его от другого.

Подобная точка зрения требует уточнения. Только свойства объекта не определяют его отличие от других объектов.

Например, все конструкционные материалы, используемые для изготовления продукции машиностроения, обладают механическими, физическими, химическими, эксплуатационными и технологическими свойствами и различие в качестве этих материалов заключается в количественном выражении этих свойств, то есть в различии числовых или качественных значений показателей свойств материалов в заданных условиях их создания и использования.

### Основная часть

Числовые или качественные значения показателей свойств объекта в заданных условиях его создания или использования определяют сущность, а следовательно, качество любых объектов, в том числе продукции машиностроения. В соответствии с вышесказанным предлагается следующее определение понятия качество продукции.

*Качество продукции* – сущность продукции, определяемая ее свойствами, показателями этих свойств в заданных условиях создания и использования продукции и числовыми или качественными значениями показателей свойств, делающих продукцию определенной и отличающей ее от других видов продукции.

Следует различать две категории качества продукции [5–10]: фактическое качество и потребительское качество.

*Фактическое качество* продукции – сущность реальной продукции, определяемая ее фактическими свойствами, показателями этих свойств в заданных условиях использования продукции, числовыми или качественными значениями показателей.

*Потребительское качество* продукции – планируемая сущность продукции, определяемая ее потребительскими свойствами, показателями этих свойств в заданных условиях создания и использования продукции, качественными или числовыми значениями норм на показатели, удовлетворяющими запросы потребителя при допустимых для него затратах на приобретение и расходах на использование этой продукции и соответствующими законодательным документам, устанавливающим ограничения на эти нормы.

*Потребительские свойства* продукции – планируемые свойства продукции, удовлетворяющие потребителей и определяющие потребительское качество продукции.

Показатели фактических или потребительских свойств продукции являются количественным выражением этих свойств.

Числовые или качественные значения показателей фактических свойств продукции являются *показателями фактического качества продукции*.

*Нормы* на показатели потребительских свойств продукции являются критериями потребительского качества продукции и определяют допустимые диапазоны изменения количественных или качественных значений показателей потребительских свойств, выражаемых в физических единицах, баллах, вероятностных единицах.

Потребительское качество продукции регламентируют в требованиях к ней.

Показатели фактических свойств продукции, изготовленной согласно этим требованиям, следует разделить на две группы:

- показатели фактических свойств продукции, входящие в комплекс показателей ее потребительских свойств;
- показатели фактических свойств продукции, не входящие в комплекс ее потребительских



свойств и, следовательно, не влияющие на потребительское качество продукции.

Необходимо отметить, что вторая группа показателей может оказывать существенное влияние на экономическую эффективность продукции, поэтому на стадии планирования, проектирования и изготовления продукции необходимо изменить значения этих показателей до уровня, обеспечивающего наибольшую экономическую эффективность продукции.

Обеспечить полное соответствие фактического качества продукции ее потребителю, удовлетворяющему потребителя, достаточно сложно по следующим причинам:

- отклонение регламентированного в требованиях потребительского качества продукции от ожиданий потребителей;
- погрешности, возникающие на стадиях проектирования, разработки и изготовления продукции;
- изменение фактического качества продукции при ее монтаже и эксплуатации.

Однако можно в достаточно полной мере обеспечить это соответствие, совершенствуя маркетинговую службу, систему управления планированием, проектированием, изготовлением, монтажом и эксплуатацией продукции.

*Назначение* продукции – функции, которые она должна выполнять при ее использовании, условия ее использования и продолжительность использования.

При отсутствии назначения продукции отсутствует потребительское качество этой продукции. Назначение продукции определяет область ее использования.

*Условия использования* продукции – где и при каких внешних воздействиях продукция может использоваться.

*Продолжительность использования* продукции – ее ресурс или срок службы.

Одно и то же потребительское свойство продукции может оцениваться различными показателями этого свойства, определяемыми условиями создания и использования продукции.

Согласно [4], «уровень качества продукции – относительная характеристика качества продукции, основанная на сравнении значений показателей качества оцениваемой продукции с базовыми значениями тех же показателей».

Данное определение уровня качества продукции требует изменения и предлагается в следующей редакции.

Существует две категории уровня качества продукции: уровень потребительского качества и уровень фактического качества продукции.

Уровень потребительского качества продукции определяется устанавливаемыми производителем в нормативной документации нормами на показатели потребительских свойств продукции – критериями ее качества.

Уровень фактического качества продукции определяется удовлетворяющими потребителя конкретными значениями показателей фактических свойств продукции при ее использовании – показателями ее качества.

В связи с тем, что запросы различных потребителей конкретной продукции удовлетворяет разное соотношение ее потребительского качества и цены, производитель планирует и регламентирует в нормативной документации уровни потребительского качества продукции.

*Планирование уровня потребительского качества продукции* – выбор норм на показатели потребительских свойств продукции на основе решения двухкритериальной задачи: удовлетворяющие запросы потребителей нормы на показатели потребительских свойств продукции при допустимых для них затратах на приобретение и расходах на использование продукции.

Каждому потребителю требуется удовлетворяющее его соотношение комплекса норм на показатели потребительских свойств продукции и цены на эту продукцию. Но производителю экономически нецелесообразно удовлетворять желание каждого потребителя. Поэтому маркетинговая служба производителя выявляет на рынке диапазон изменения, удовлетворяющего запросы разных групп потребителей, соотношения комплекса норм на показатели потребительских свойств конкретной продукции и цены на эту продукцию. Затем производитель разделяет этот диапазон на интервалы и в каждом интервале устанавливает конкретные нормы на показатели потребительских свойств продукции – критерии потребительского качества, определяющие соответствующие уровни ее потребительского качества.

При планировании уровней потребительского качества продукции должно выполняться следующее условие: каждый уровень потребительского качества продукции должен удовлетворять достаточное количество потребителей для обеспечения производителю необходимой прибыли.

Следует различать следующие уровни потребительского качества продукции:

- базовый уровень потребительского качества, удовлетворяющий наибольшее количество потребителей по соотношению норм на показатели по-



требительских свойств продукции и ее цены;

– премиум-класс, когда нормы на показатели потребительских свойств продукции выше базовых и соответствуют ее высокой цене; обычно объем выпуска продукции премиум-класса соответствует единичному производству;

– более низкие уровни потребительского качества продукции по сравнению с базовым уровнем; они удовлетворяют значительное количество потребителей по соотношению норм на показатели потребительских свойств продукции к ее цене, а следовательно, обеспечивают необходимую прибыль производителю.

Причинами более низкого уровня потребительского качества продукции могут быть ее дефекты при изготовлении или экономическая политика производителя, позволяющая ему при преднамеренном снижении уровня потребительского качества продукции ниже базового уровня существенно снизить затраты на ее производство и, как следствие этого, снизить цену продукции, привлекая дополнительно значительное количество ее потребителей.

Дефекты продукции – это отклонения значений показателей ее фактического качества от норм – критериев потребительского качества, установленных в нормативной документации. Продукция, имеющая даже один дефект, является браком.

В зависимости от характера дефектов брак может быть исправимым и неисправимым. В первом случае числовые или качественные значения показателей потребительских свойств продукции после исправления будут соответствовать нормам, приведенным в нормативной документации. Во втором случае исправление технически невозможно или экономически нецелесообразно. В этом случае производят расчет, основанный на сопоставлении действительных значений показателей фактического качества дефектной продукции и ее экономических характеристик, с целью определения их соответствия одному из нормативных уровней потребительского качества продукции.

### Заключение

Планирование уровня потребительского качества продукции – сложный творческий процесс, требующий высокой профессиональной компетентности участников этого процесса и состоящий из ряда процессов, взаимосвязанных между собой по принципу иерархии:

– изучение и систематизация маркетинговой службой производителя продукции ожиданий, потребностей потребителей этой продукции;

– разработка требований к продукции, удовлетворяющих потребителя и производителя этой продукции;

– регламентация разработанных требований в нормативной документации на эту продукцию, обязательной для выполнения на всех стадиях ее жизненного цикла.

### Источники

1. ГОСТ Р 9000–2001. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь (введ. 15 августа 2001 г.). М.: Изд-во стандартов, 2001. 34 с.

2. ГОСТ Р ИСО 9001–2001. Системы менеджмента качества. Требования (введ. 15 августа 2001 г.). М.: Изд-во стандартов, 2001. 25 с.

3. ГОСТ Р ИСО 9000–2008. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь (взамен ГОСТ Р ИСО 9000–001; введ. 18 декабря 2008 г.). М.: СтандратИнформ, 2009. 35 с.

4. ГОСТ Р ИСО 9000–2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь (введ. 28 сентября 2015 г.). М.: СтандратИнформ, 2015. 53 с.

5. Протасов В.Н. Планирование и обеспечение качества и эффективности проектирования оборудования для нефтегазодобычи: Монография. М. – Вологда: Инфа-Инженерия, 2024. 256 с.

6. Протасов В.Н., Новиков О.А. Качество машиностроительной продукции на различных стадиях ее жизненного цикла. М.: Недра-Бизнесцентр, 2012. 231 с.

7. Кершенбаум В.Я. Инновации, конкурентоспособность и проблемы НГК // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. М., 2012. № 4. С. 3–8.

8. Кершенбаум В.Я. Нефтегазовые технологические системы. Иерархия, качество, стандарты // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. М., 2016. № 1. С. 29–32.

9. Кершенбаум В.Я. Совершенствование системы управления качеством буровых растворов // Нефтяное хозяйство. М., 2017. № 1. С. 24–27.

10. Протасов В.Н. Планирование и обеспечение качества и экономической эффективности эксплуатации оборудования для нефтегазодобычи: Монография. М. – Вологда: Инфа-Инженерия, 2024. 352 с.



## References

1. GOST R 9000–2001. Quality management systems. Basic provisions and vocabulary (introduced on August 15, 2001). Moscow: Publishing House of Standards, 2001. 34 p.
2. GOST R ISO 9001–2001. Quality management systems. Requirements (introduced on August 15, 2001). Moscow: Publishing House of Standards, 2001. 25 p.
3. GOST R ISO 9000–2008. Quality management systems. Basic provisions and vocabulary (replaces GOST R ISO 9000–001; introduced on December 18, 2008). Moscow: StandratInform, 2009. 35 p.
4. GOST R ISO 9000–2015. Quality Management Systems. Fundamentals and Dictionary (introduced on September 28, 2015). Moscow: StandratInform, 2015. 53 p.
5. Protasov V.N. Planning and Ensuring Quality and Efficiency of Designing Equipment for Oil and Gas Production: Monograph. Moscow – Vologda: Infa-Engineering, 2024. 256 p.
6. Protasov V.N., Novikov O.A. Quality of Mechanical Engineering Products at Various Stages of Their Life Cycle. Moscow: Nedra-Business Center, 2012. 231 p.
7. Kershenbaum V.Ya. Innovations, Competitiveness and Problems of the Oil and Gas Industry // Quality Management in the Oil and Gas Complex. Moscow, 2012. No. 4. pp. 3–8.
8. Kershenbaum V.Ya. Oil and Gas Technological Systems. Hierarchy, quality, standards // Equipment and technologies for the oil and gas complex. Moscow, 2016. No. 1. P. 29–32.
9. Kershenbaum V.Ya. Improving the quality management system for drilling fluids // Oil industry. Moscow, 2017. No. 1. P. 24–27.
10. Protasov V.N. Planning and ensuring the quality and economic efficiency of operation of equipment for oil and gas production: Monograph. Moscow – Vologda: Infa-Engineering, 2024. 352 p.

# Способ повторного использования конструкторско-технологических решений для ускорения технологической подготовки производства в станкостроении

**А.А. Бобрышев**

аспирант 2-го курса группы АСП 23-01  
МГТУ «СТАНКИН», генеральный директор  
ООО «БИВЕР ТЕХ»

e-mail: mutouf0@yandex.ru

**Аннотация:** В статье рассматривается способ ускорения технологической подготовки производства в станкостроении за счет повторного использования ранее разработанных конструкторских и технологических решений. Проведен анализ современных научных публикаций и патентов по данной тематике. Предложен механизм оценки сходства изделий по множеству числовых атрибутов с вычислением индекса сходства на основе евклидова расстояния. Описан подход к количественной оценке возможности повторного использования конструкторско-технологических решений, а также интеллектуальный алгоритм поиска с настройкой параметров, применяемый на уровне оперативно-календарного планирования. Приведены примеры применения метода в контексте станкостроительной отрасли. Сделаны выводы об эффективности повторного использования знаний для сокращения цикла подготовки производства.

**Ключевые слова:** планирование, менеджмент станкостроения, адаптивное планирование.

**Summary.** The Technique for the Reuse of Design and Technological Solutions to Accelerate the Technological Preparation of Production in Machine Tool Industry

The article considers a method for accelerating the technological preparation of production in machine tool building by reusing previously developed design and technological solutions. An analysis of modern scientific publications and patents on this topic is conducted.

A mechanism for assessing the similarity of products by a set of numerical attributes with the calculation of the similarity index based on the Euclidean distance is proposed. An approach to the quantitative assessment of the possibility of reusing design and technological solutions is described, as well as an intelligent search algorithm with parameter settings used at the level of operational and calendar planning. Examples of the method application in the context of the machine tool industry are given. Conclusions are made on the effectiveness of knowledge reuse to reduce the production preparation cycle.

**Keywords:** planning, management in machine tools industry, adaptive planning.

## Введение

Подготовка производства изделий станкостроения традиционно является сложным и длительным процессом. Конструкторско-технологическая подготовка производства (КТПП) включает разработку конструкторской документации, технологической документации, подбор оборудования и оснастки, а также планирование производства. На крупных предприятиях процесс КТПП может занимать недели и даже месяцы, определяя время вывода продукта на рынок. Возникает актуальная задача сокращения сроков подготовки новых изделий к производству без снижения качества. Одним из перспективных направлений решения этой проблемы является повторное использование базы конструкторско-технологических решений (КТР), то есть применение ранее разработанных проектных и технологических элементов при разработке новых изделий. Данный подход опирается на формализованные методы описания знаний, унификацию типовых элементов и использование автоматизированных систем, что позволяет значительно ускорить конструкторско-технологическую подготовку новых изделий.

В данной статье рассматривается формализованный подход к повторному использованию КТР



в машиностроении. Приводятся основные концепции метода, сравнивается его эффективность с традиционными подходами. Особое внимание уделяется формализации знаний и использованию информационных технологий для накопления и извлечения инженерного опыта.

### Повторное использование конструкторско-технологических решений: предпосылки и концепции

Повторное использование КТР основано на идее, что многие изделия машиностроения имеют схожие элементы конструкции и технологии изготовления. В рамках традиционного подхода каждый новый продукт часто проектируется и технологически прорабатывается с нуля, что приводит к дублированию усилий и увеличению сроков. Повторное же использование предполагает выявление и сохранение типовых решений, которые могут быть перенесены из прошлых проектов в новые с минимальными изменениями. Данный подход стал развиваться благодаря ряду предпосылок:

- унификация изделий и процессов: в машиностроении распространена унификация деталей, узлов и процессов. Например, использование стандартных крепежных элементов, типовых допусков и посадок, стандартных техпроцессов на типовые детали. Унификация упрощает повторное применение существующих решений без необходимости разрабатывать их заново;

- развитие баз знаний и информационных систем: современные PDM/PLM-системы и специализированные базы данных позволяют накапливать информацию о ранее выполненных проектах (3D-модели, чертежи, техпроцессы, режимы обработки и т.п.) и эффективно извлекать эти данные для повторного использования;

- концепция сквозного проектирования и жизненного цикла изделия: интегрированные системы проектирования (CAD/CAM/CAE/CAPP) позволяют организовать непрерывный поток данных от концепции до производства. Повторное использование информации на каждом этапе – от 3D-моделей до технологических маршрутов – способствует сокращению сроков и предотвращает ошибки при передаче данных между отделами.

Формализованный подход к повторному использованию заключается в строгом описании и классификации проектно-технологических решений, чтобы сделать их пригодными для автоматизированного поиска и адаптации. Для этого применяются методы формализации знаний, в том числе:

- классификация и кодирование типовых конструктивных элементов и технологических про-

цедур. Например, в рамках групповой технологии детали классифицируются по признакам конструктивно-технологического подобия (размеры, форма, материал, требования к обработке). Классическим примером является метод групповой обработки, предложенный С.А. Митрофановым, который позволяет на основе анализа признаков детали выбрать уже отработанный техпроцесс-аналог;

- параметрические модели и шаблоны – создание шаблонов для конструкторской и технологической документации, где новые изделия разрабатываются путем изменения параметров типовых конструкций. При этом соответствующие технологические маршруты перестраиваются автоматически на основе измененных параметров детали;

- базы прецедентов – хранение конкретных случаев (*Case-based reasoning*) проектно-технологических решений с указанием условий их применения. Новая задача сопоставляется с прецедентами, и на основе наиболее похожего выбирается решение с последующей адаптацией;

- алгоритмы поиска и адаптации – применение эвристических алгоритмов для поиска подходящего существующего решения и его модификации под требуемые условия (например, подбор аналогичного техпроцесса по заданному материалу и габаритам детали, с последующим пересчетом режимов обработки).

Формализованный характер подхода обеспечивает возможность его программной реализации в системах автоматизированного проектирования технологических процессов (АПТП). Еще в 1970-х годах были заложены основы такого подхода: работы В.Д. Цветкова и соавторов по автоматизированному проектированию техпроцессов предлагали разбиение процесса на уровни (маршрут, операция, переход) и применение правил и алгоритмов для их синтеза. Современные реализации развивают эти идеи, используя объектно-ориентированные модели процессов, онтологии и цифровые двойники технологических операций. Например, в работе *Jinfeng Liu* и др. (2018 г.) предложен подход на основе цифрового двойника для повторного использования знаний о процессах обработки: модель цифрового двойника связывает геометрическую информацию о детали с динамически обновляемыми данными об оборудовании, что позволяет более точно выбирать и адаптировать технологические решения из базы знаний.

Таким образом, формализованный подход базируется на слиянии классических методов унификации и современных информационных технологий, создавая основу для быстрого проектирования техпроцессов на основе накопленного опыта.

## Оценка сходства изделий и маршрутов

В рамках адаптивного планирования в станкостроении целесообразно использовать методы системного анализа для выбора наиболее подходящего технологического процесса (КТП) на основе ранее реализованных решений. Оценка осуществляется по совокупности признаков, характеризующих изделие, включая конструктивные и технологические параметры. Это позволяет формализовать процедуру повторного использования КТП при проектировании новых изделий, что значительно снижает затраты и сроки подготовки производства.

В рамках задачи выбора наиболее подходящего КТП формулируется задача оптимизации:

$$i^* = \arg \max_{i \in K} S(R, A_i)$$

где  $K$  – множество всех известных КТП в базе,  $R$  – вектор признаков нового изделия,  $A_i$  – признаки  $i$ -того аналога, а  $S(R, A_i)$  – мера технологического сходства.

Оценка степени подобия между новым изделием и ранее обработанными деталями выполняется с применением взвешенной нормализованной меры сходства:

$$S(R, A_i) = \frac{\sum w_j \cdot f_j(r_j, a_{ij})}{\sum w_j}$$

где  $w_j$  – вес признака  $j$ , отражающий его значимость;

$f_j(r_j, a_{ij}) \in [0, 1]$  – локальная функция сходства:

– для категориальных признаков:  $f_j = 1$  при совпадении,  $f_j = 0$  – при различии;

– для числовых признаков:  $f_j = 1 - |r_j - a_{ij}| / r_j$ , при нормализации.

Для демонстрации метода рассмотрим шесть признаков, наиболее значимых для шпиндельной бабки фрезерного станка:

1. Материал детали;
2. Масса заготовки, кг;
3. Количество отверстий;
4. Количество установок;

5. Максимальный габарит, мм;

6. Диаметр расточки под шпиндель, мм.

Каждому признаку присваивается вес. Далее рассчитываются значения  $f_j$  между новым изделием и аналогами. Результаты сводятся в таблицу, где итоговое значение  $S$  упорядочивает аналоги по степени близости.

Для количественной оценки пригодности можно ввести пороговое значение  $S_{\text{порог}}$ . Значимыми считаются аналоги с  $S \geq 0,85$ . Значения ниже 0,7 требуют адаптации или исключаются.

Наиболее подходящий аналог определяется по максимальному значению  $S$ , отражая системную оценку технологического соответствия.

Таким образом, метод реализует системный подход, учитывающий многокритериальность проектных решений, и обеспечивает обоснованное повторное использование КТП.

### Пример оценки сходства для шпиндельной бабки

Для демонстрации расчета использована новая шпиндельная бабка с параметрами (см. рисунок):

Материал: сталь

Масса: 120 кг

Кол-во отверстий: 8

Кол-во установок: 2

Макс. габарит: 600 мм

Диаметр расточки: 90 мм

Для каждого аналога рассчитывается локальная функция сходства  $f_j$  по формуле (табл. 1):

$f_j = 1 - |r_j - a_{ij}| / r_j$  – для числовых признаков;

$f_j = 1$  – для совпадающих категориальных признаков (материал).

Затем применяется формула свертки:

$$S = (\sum w_j \cdot f_j) / (\sum w_j)$$

Веса признаков заданы следующим образом:

Материал: 0.20

Масса: 0.15

Отверстия: 0.15

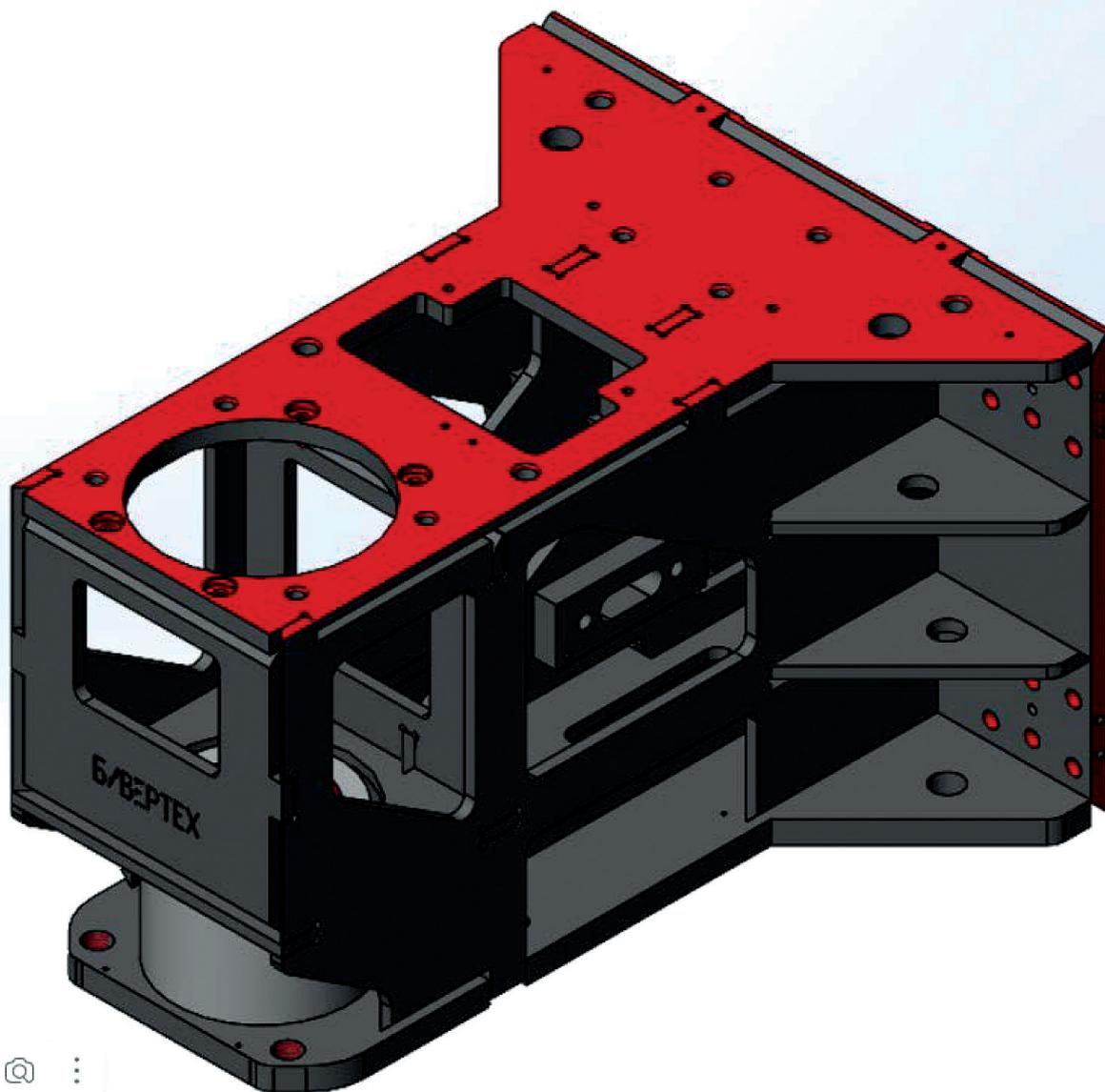
Установы: 0.15

Габарит: 0.15

Расточка: 0.20

Таблица 1

Объект	$f_1$ Материал	$f_2$ Масса	$f_3$ Отверстия	$f_4$ Установы	$f_5$ Габарит	$f_6$ Расточка	$S$ (итог)
Аналог 1	1	0,958	0,875	0,5	0,967	0,978	0,891
Аналог 2	1	0,917	1,000	1,0	0,967	0,989	0,980
Аналог 3	1	0,875	0,750	0,0	0,883	0,889	0,754
Аналог 4	1	0,983	0,875	1,0	1,000	0,989	0,976



Демонстрация расчета шпиндельной бабки

### Обоснование оценки трудоемкости КТП

Согласно методике, изложенной в пособии под редакцией В.Н. Лякишева, для корпусной детали средней сложности (например, шпиндельной бабки фрезерного станка, относимой к IV группе сложности), суммарная трудоемкость разработки технологического процесса составляет:

- маршрутная технология – 27 нормо-часов;
- операционные эскизы – 90 нормо-часов;
- нормирование – 21 нормо-час;
- контроль и проверка – 15 нормо-часов;
- сварка и термообработка (по таблице укрупненных нормативов) – 28 нормо-часов;
- механическая обработка с ЧПУ (фрезерование, сверление) – 42 нормо-часа;

- Итого на одну деталь: 223 нормо-часа при полной разработке;

- При повторном использовании аналогичного КТП: 3 нормо-часа (усредненная оценка на адаптацию).

Для наглядности представим сравнительную таблицу трудоемкости (табл. 2).

**Таблица 2. Сравнительная таблица трудоемкости**

Этап подготовки КТП	Трудозатраты на 1 деталь, ч	Всего на 600 деталей, ч
Разработка нового КТП	223	133 800
Повторное использование (адаптация)	3	1800
Экономия	220	132 000

Таким образом, повторное использование КТП может привести к снижению затрат на подготовку производства на величину порядка 220 ч для одной детали при сохранении технической обоснованности решений.

Более того, применение методики оценки технологического сходства позволяет автоматически выработать план мероприятий по подготовке производства, включая выбор оборудования, корректировку режимов резания и подбор оснастки. Это дополнительно сокращает сроки инженерной проработки и повышает согласованность проектных решений между подразделениями.

### Выводы

В данной работе представлен целостный научно обоснованный подход к ускорению подготовки производства и оперативного планирования на основе повторного использования конструкторско-технологических решений. Разработана формальная модель представления и поиска КТР, позволяющая систематизировать накопленные инженерные знания и эффективно применять их при разработке новых изделий. Предложенный подход сочетает методы классификации (групповой технологии) с современными принципами управления знаниями, что обеспечивает надежность и воспроизводимость процесса. Анализ литературных данных и проведенные эксперименты подтвердили, что использование ранее отработанных решений может сокращать трудоемкость конструкторско-технологической подготовки на 50–80% и соответствующим образом уменьшать цикл вывода продукта на рынок.

Практическая реализация подхода на примере шпиндельной бабки фрезерного станка показала, что точечный подбор аналога с высоким уровнем сходства позволяет достичь экономии до 132 000 нормо-часов, или 16 500 человеко-дней, при проектировании нового станка. Это подтверждает высокую эффективность метода как инструмента рационализации технологической подготовки производства и цифровой трансформации инженерных решений.

Практическая значимость результатов заключается в возможности их внедрения в системах автоматизированного проектирования и планирования (CAD/CAM/CAPP, ERP, MES). Создание корпоративной базы знаний КТР и разработка интерфейсов для ее использования инженерами и диспетчерами позволит предприятиям машиностроения существенно сократить циклы разработки и реагировать на потребности рынка

быстрее конкурентов. Кроме того, побочным эффектом станет унификация и стандартизация решений внутри компании, что улучшит качество продукции и облегчит обслуживание (так как одинаковые узлы и процессы повторяются в разных изделиях).

Перспективы дальнейших исследований видятся в развитии методов интеллектуального анализа данных в базе знаний КТР. В частности, применение технологий искусственного интеллекта и машинного обучения могло бы повысить точность оценки сходства и предлагать нетривиальные аналоги, учитывая скрытые зависимости в данных. Также интересным направлением является интеграция рассмотренного подхода с концепцией цифровых двойников и систем моделирования: например, проверка работоспособности адаптированного решения через цифровой симулятор производства перед запуском в реальный цех.

В заключение, формализованный подход к повторному использованию конструкторско-технологических решений, представленный в статье, представляет собой эффективный инструмент для инженерно-технических служб предприятий. Его применение позволит сократить затраты времени и ресурсов на подготовительные этапы, обеспечить более плавный и предсказуемый переход к стадии производства, а также создать основу для накопления и рационального использования корпоративного опыта. Дальнейшая работа в данной области будет направлена на расширение базы знаний, совершенствование алгоритмов сопоставления и адаптации, а также на проведение опытно-промышленных внедрений для количественной оценки экономического эффекта.

### Использованные источники

1. Efthymiou K., Sipsas K., Mourtzis D., Chryssolouris G. On knowledge reuse for manufacturing systems design and planning: a semantic technology approach // CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. 2015. No. 8. P. 1–11.
2. Antelme R., Moultrie J., Probert D. Engineering reuse: a framework for improving performance. In: Proc. of the 2000 IEEE Int. Conf. on Management of Innovation and Technology (ICMIT 2000). Vol. 1. IEEE, 2000: 190–195.
3. Misaki D., Aomura S. Searching sheet metal parts based on bending process similarity. Proceedings of the

IMechE, Part B // Journal of Engineering Manufacture. 2003. No. 217(3). P. 427–438.

4. Митрофанов С.П. Научные основы групповой технологии. Л.: Mashgiz, 1959.

5. Лякишев А.Г., Смородинова Т.К., Маслов В.М., Аксенов К.В. Техническая подготовка производства изделия / Федеральное агентство по об-

разованию; Орловский государственный технический университет. Орел, 2006.

6. Типовые нормы времени на разработку технологической документации / Центральное бюро нормативов по труду Государственного комитета СССР по труду и социальным вопросам. М.: Экономика, 1988.

## References

1. Efthymiou K., Sipsas K., Mourtzis D., Chryssolouris G. On knowledge reuse for manufacturing systems design and planning: a semantic technology approach // CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. 2015. No. 8. P. 1–11.

2. Antelme R., Moultrie J., Probert D. Engineering reuse: a framework for improving performance. In: Proc. of the 2000 IEEE Int. Conf. on Management of Innovation and Technology (ICMIT 2000). Vol. 1. IEEE, 2000: 190–195.

3. Misaki D., Aomura S. Searching sheet metal parts based on bending process similarity. Proceedings of the IMechE, Part B // Journal of Engineering Manufacture. 2003. No. 217(3). P. 427–438.

4. Mitrofanov S.P. Scientific foundations of group technology. L.: Mashgiz, 1959.

5. Lyakishev A.G., Smorodina T.K., Maslov V.M., Aksenov K.V. Technical preparation for product production / Federal Education Agency; Oryol State Technical University. Oryol, 2006.

6. Standard time standards for developing technological documentation / Central Bureau of Labor Standards of the USSR State Committee on Labor and Social Issues. M.: Economica, 1988.

# Операторное моделирование процесса производства блинов с мясной начинкой

## А.О. Любенкова,

магистр, ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»  
в г. Смоленске  
e-mail: lubenkovaao@mail.ru

## Г.В. Короткова,

канд. биол. наук, доцент кафедры  
«Технологические машины и оборудование»  
филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»  
в г. Смоленске  
e-mail: kgv49@rambler.ru

*Аннотация.* Данная работа посвящена операторному моделированию процесса производства блинов с мясной начинкой. Модель разработана в программной среде КОМПАС для визуализации и анализа. В результате моделирования была получена операторная модель, демонстрирующая взаимодействие и последовательность протекания технологических операций.

Цель данной статьи – представить операторное моделирование процесса производства блинов с мясной начинкой при помощи программы КОМПАС.

Результаты моделирования могут быть использованы для проектирования и оптимизации производства блинов с начинкой в пищевой промышленности.

*Ключевые слова:* операторная модель, технологические операции, блины, мясная начинка, КОМПАС.

*Summary.* This work is devoted to the operator modeling of the production process of pancakes with meat filling. The model was developed in the KOMPAS software environment for visualization and analysis. As a result of modeling, an operator model was obtained demonstrating the interaction and sequence of technological operations.

The purpose of this article is to present the operator modeling of the production process of pancakes with meat filling using the KOMPAS program.

The results of modeling can be used for designing and optimizing the production of pancakes with filling in the food industry.

*Keywords:* operator model, technological operations, pancakes, meat filling, KOMPAS.

Операторное моделирование представляет собой мощный инструмент для анализа и совершенствования технологических систем, позволяющий детально изучить взаимодействие различных операций и элементов, выявить узкие места и разработать стратегии повышения эффективности. Операторное моделирование может быть широко использовано в пищевой, химической, нефтегазовой промышленности, энергетике, машиностроении, транспорте и логистике.

Технологическая схема производства блинов с начинкой представляет собой сложный процесс, состоящий из множества взаимосвязанных операций и элементов. На основе технологической схемы строится операторная модель.

Операторная модель производства дает возможность понять, каким образом в результате взаимодействия и последовательного протекания технологических операций функционирует вся технологическая система, и вывести ее в оптимальный режим либо предложить пути ее развития. Для построения операторной модели необходимо четко определить структуру системы и выделить ключевые операции. В таблице представлена технологическая система производства блинов.

Операторная модель представляет собой формализованное описание технологической системы, в которой каждая операция и элемент рассматриваются как операторы, преобразующие входные данные (сырье, материалы, энергию) в выходные (промежуточные или конечные продукты). Операторная модель производства представлена на рисунке.

Таким образом, операторная модель, представленная на рисунке, состоит из двух основных операций: приготовление фарша и приготовление блина. Производство блина включает 27 элементов операции, каждый из которых необходим для получения блина с начинкой. Построенная операторная модель позволяет провести детальный анализ технологической схемы производства блинов с мясной начинкой.

Операторное моделирование представляет собой эффективный инструмент для анализа и оптимизации процесса производства блинов с мясной

Технологическая система приготовления блинов

Обозначение		Операции и их элементы
Операция	Элемент операции	
I		Приготовление фарша
	1	Хранение мясного фарша
	2	Дозирование мясного фарша
	3	Хранение сухого репчатого лука
	4	Дозирование сухого репчатого лука
	5	Смешивание фарша с луком
	6	Обжарка фарша с луком
II		Приготовление блина
	1	Хранение воды
	2	Дозирование воды
	3	Нагревание воды
	4	Хранение маргарина
	5	Дозирование маргарина
	6	Нагревание маргарина
	7	Хранение муки
	8	Дозирование муки
	9	Хранение молока
	10	Дозирование молока

Обозначение		Операции и их элементы
Операция	Элемент операции	
	11	Хранение соли
	12	Дозирование соли
	13	Сохранение сахара
	14	Дозирование сахара
	15	Хранение дрожжей
	16	Дозирование дрожжей
	17	Хранение яиц
	18	Дозирование яиц
	19	Смешивание воды с маргарином, мукой, молоком, солью, сахаром, дрожжами и яйцами
	20	Выпечка теста
	21	Добавление начинки в блин
	22	Придание формы
	23	Придание формы
	24	Упаковка продукта в полимерные материалы
	25	Заморозка продукта
	26	Упаковка продукта
	27	Хранение продукта

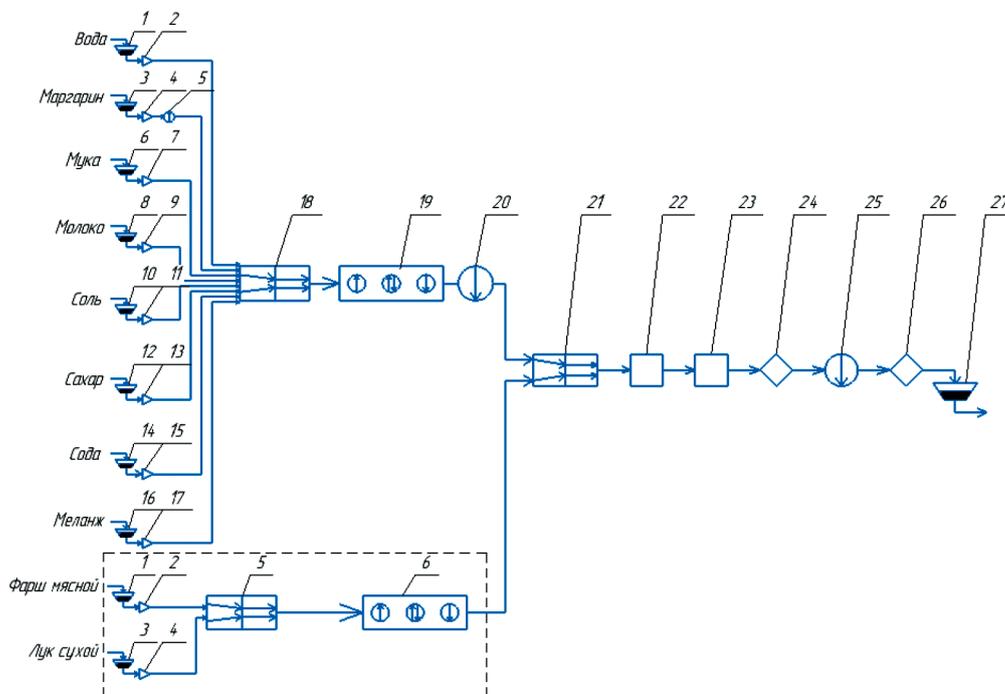


Рисунок 1. Операторная модель процесса производства блинов с мясной начинкой

начинкой. Построенная операторная модель позволяет детально изучить взаимодействие операций и элементов, выявить узкие места и разработать стратегии повышения эффективности. Результаты моделирования могут быть использованы для улучшения технологического процесса, повышения качества продукции, снижения затрат и увеличения прибыли предприятия.

#### Использованные источники

1. Белоусов А.П., Малышев В.А. Теория механизмов и машин. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 314 с.

2. Корнюшко Л.М. Механическое оборудование предприятий общественного питания. М.: Гиорд, 2016. 288 с.

3. Любенкова А.О., Короткова Г.В. Приоритетные направления модернизации оборудования для производства блинов // Материалы XIV Международной межвузовской научно-практической конференции студентов «Актуальные проблемы формирования здорового образа жизни студенческой молодежи». Смоленск: Универсум, 2023. С. 263–265.

4. Нечаев А.П. Технологии пищевых производств / Под общ. ред. А.П. Нечаева. М.: КолосС, 2007. 767 с.

#### References

1. Belousov A.P., Malyshev V.A. Theory of mechanisms and machines. Moscow, MSTU im. N.E. Bauman, 2018. 314 p.

2. Korniyushko L.M. Mechanical equipment of public catering establishments. Moscow, Giord, 2016. 288 p.

3. Lyubenkova A.O., Korotkova G.V. Priority areas for modernization of equipment for pancake production: "Actual problems of formation of healthy lifestyle of student youth" XIV international interuniversity scientific and practical conference of students. Smolensk: Universum, 2023. P. 263–265.

4. Nechaev A.P. Food production technologies. Ed. by A.P. Nechaev. Moscow, KolosS, 2007. 767 p.



УДК: 681.518/004.896

# Совершенствование методов децентрализованного управления роем роботов для реагирования на чрезвычайные ситуации: алгоритм рассредоточения

**У.В. Белкин,**

аспирант кафедры электромеханики и робототехники СПбГУАП; Санкт-Петербург  
e-mail: ulyaninnb@gmail.com

**А.А. Приходский,**

аспирант кафедры электромеханики и робототехники СПбГУАП; Санкт-Петербург  
e-mail: prihodskiy@gmail.com

**С.А. Сериков,**

д-р техн. наук, профессор кафедры электромеханики и робототехники СПбГУАП, научный руководитель; Санкт-Петербург  
e-mail: srkv@inbox.ru

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются вопросы применения роевой робототехники для повышения эффективности поисково-спасательных работ, мониторинга и ликвидации последствий в зонах чрезвычайных ситуаций (ЧС). Основное внимание уделяется разработке и исследованию алгоритма децентрализованного управления для решения задачи рассредоточения роя роботов в условиях ЧС, в частности, в сценариях с разрушенной инфраструктурой связи. Представлен обзор современного состояния разработок в этой области, а также обозначены преимущества роевого подхода, такие как децентрализация, самоорганизация и адаптивность. Описана разработанная авторами программная платформа моделирования, реализующая данный алгоритм. Введены метрики для оценки эффективности рассредоточе-

ния, такие как среднее расстояние между агентами, дисперсия расстояний и время сходимости. Приведены результаты вычислительных экспериментов, подтверждающие работоспособность алгоритма и демонстрирующие влияние ключевых параметров (размер роя, радиус и сила отталкивания) на характеристики процесса.

**Ключевые слова:** роевая робототехника, чрезвычайная ситуация, поисково-спасательные работы, мониторинг, децентрализованное управление, самоорганизация, математическое моделирование, рассредоточение, алгоритм управления.

**Summary.** This paper explores the application of swarm robotics to enhance the effectiveness of search and rescue operations, monitoring, and disaster recovery in emergency zones. The primary focus is on the development and investigation of a decentralized control algorithm for solving the problem of robot swarm dispersion in emergency situations, specifically in scenarios with disrupted communication infrastructure. A review of the current state of development in this area is presented, and the advantages of the swarm approach, such as decentralization, self-organization, and adaptability, are highlighted. The authors' developed simulation software platform implementing this algorithm is described. Metrics for evaluating dispersion effectiveness, such as the average distance between agents, distance variance, and convergence time, are introduced. The results of computational experiments are presented, confirming the algorithm's feasibility and demonstrating the influence of key parameters (swarm size, repulsion radius, and repulsion strength) on the process characteristics.

**Keywords:** swarm robotics, emergency situation, search and rescue operations, monitoring, decentralized



control, self-organization, mathematical modeling, dispersion, control algorithm.

## Введение

Чрезвычайные ситуации (ЧС) как природного, так и техногенного характера несут в себе серьезную угрозу для жизни и здоровья людей, а также наносят значительный ущерб экономике и окружающей среде. Эффективное реагирование на подобные происшествия требует оперативного получения информации об обстановке в зоне бедствия, поиска и спасения пострадавших, а также ликвидации последствий. Традиционные методы, предполагающие непосредственное участие человека, зачастую связаны с риском и не всегда обеспечивают необходимую скорость и полноту выполнения неотложных работ.

В последние годы развитие робототехники открывает новые возможности для решения задач в условиях ЧС. Особый интерес представляет использование групп роботов, действующих как единый «рой». Данный подход, основанный на принципах децентрализованного управления, самоорганизации и адаптации к изменениям, позволяет повысить надежность, живучесть и масштабируемость робототехнической системы по сравнению с централизованными аналогами.

Настоящая статья посвящена разработке и исследованию алгоритма децентрализованного управления для решения задачи рассредоточения роя роботов в зоне ЧС со слабой или разрушенной инфраструктурой связи. Рассматриваются ключевые преимущества обозначенного вектора исследований, актуальные проблемы и перспективные направления развития. Особое внимание в работе уделяется практической реализации алгоритмов управления роем, а также оценке эффективности выполнения задачи рассредоточения на основе разработанной авторами методики.

На основе анализа зарубежного и российского опыта создания и использования робототехнических комплексов данного типа в ЧС выделяются наиболее перспективные технологии и подходы. Результаты компьютерного моделирования подтверждают работоспособность разработанных авторами моделей и алгоритмов управления, демонстрируя потенциал данного направления деятельности для повышения эффективности и безопасности спасательных операций. В частности, рассматривается сценарий работы в условиях нарушенной коммуникационной инфраструктуры, что является одним из ключевых вызовов в данной области.

**Современное состояние исследований и разработок: фокус на децентрализованное рассредоточение**

Робототехнические системы, действующие по принципу роя, становятся ключевым элементом в действиях по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. В частности, для эффективного решения задач в зонах со слабой или разрушенной инфраструктурой связи актуальным направлением является разработка алгоритмов децентрализованного рассредоточения. В данной статье мы сфокусируемся именно на этом аспекте, опуская подробный обзор всех существующих решений, но выделяя те, которые вносят вклад в данную область.

Лаборатория реактивного движения NASA (JPL) разработала инновационную систему *Swarmoid*, включающую наземных роботов-исследователей, сборщиков и летающие квадрокоптеры [1, с. 1152]. Этот пример демонстрирует возможности комплексного подхода, однако не раскрывает в полной мере методы обеспечения связи и координации в условиях ее нестабильности, что является критичным фактором в зонах ЧС.

Среди передовых разработок, направленных на решение проблемы рассредоточения, можно выделить проект ICARUS, в котором используются гетерогенные рои, состоящие из наземных змееподобных роботов и беспилотных летательных аппаратов, способных проникать под завалы [2, с. 402]. Данное решение акцентирует внимание на адаптивности указанной системы к сложным условиям среды, что важно для обеспечения эффективного рассредоточения.

Рассматриваемая стратегия обладает рядом преимуществ, включая децентрализованное управление и распределение функций, что повышает отказоустойчивость: даже при выходе из строя отдельных роботов система в целом сохраняет свою работоспособность [3]. Важной характеристикой данного направления деятельности является самоорганизация, основанная на простых правилах и локальном взаимодействии [4, с. 280]. Этот аспект позволяет системе адаптироваться к изменениям среды без централизованного управления, что повышает гибкость и устойчивость. Масштабируемость также относится к значимым преимуществам: увеличение количества роботов позволяет охватывать большую территорию и ускорять выполнение задач [5, с. 67].

Российские исследования в обозначенной области также вносят свой вклад. В Санкт-Петербургском институте информатики и автоматизации РАН разработан прототип гетерогенного роя для ЧС, включающий мобильные платформы и беспилотные вертолеты, способные действовать как внутри зданий, так и на открытых пространствах [6, с. 34]. В этом примере показана важность кооперативного поведения для выполнения задач, что



тесно связано с проблемой эффективного рассредоточения. В МГТУ имени Н.Э. Баумана ведутся исследования по групповому управлению роботами для мониторинга лесных пожаров, включающие разработку алгоритмов оптимального покрытия территории и поддержания коммуникаций между роботами. Применение метода динамической реконфигурации позволило повысить живучесть данного комплекса при отказе отдельных роботов [7, с. 75].

Несмотря на очевидные преимущества, внедрение роевой робототехники в ЧС сталкивается с рядом проблем, в особенности, с обеспечением надежной коммуникации в условиях разрушенной инфраструктуры. Именно на решении этой проблемы, применительно к задаче рассредоточения, и сфокусирована данная работа. Перспективным направлением является интеграция с искусственным интеллектом и машинным обучением, что позволит адаптировать данные системы к динамическим изменениям и оптимизировать выполнение задач в реальном времени [8, с. 161; 9]. Разработка специализированных коммуникационных протоколов, устойчивых к помехам и перебоям, также является критически важной задачей.

#### Алгоритм децентрализованного управления роем роботов для задачи рассредоточения в ЧС: математическая модель и методы

Математические модели, описывающие поведение отдельных агентов роя, играют ключевую роль в разработке эффективных систем управления для чрезвычайных ситуаций, особенно в условиях нарушенной инфраструктуры связи. Эти модели позволяют описать коллективное поведение роя и обеспечить координацию между роботами, действующими автономно на основе локальной информации. Одним из распространенных подходов является использование моделей, основанных на силах взаимодействия между агентами, в частности на силах притяжения и отталкивания. В данных моделях каждый робот взаимодействует с другими роботами и окружающей средой посредством этих сил. Такой подход позволяет поддерживать связность роя и избегать столкновений. Силы притяжения и отталкивания могут быть описаны с помощью потенциальных функций. Например, потенциальная функция притяжения между двумя роботами  $i$  и  $j$  может быть представлена как  $U_{attr}(r_{ij}) = -k_{attr} \cdot r_{ij}$ , где  $r_{ij}$  – расстояние между роботами, а  $k_{attr}$  – константа притяжения. Аналогично, потенциальная функция отталкивания может быть представлена как  $U_{rep}(r_{ij}) = k_{rep} \cdot r_{ij}^{-2}$ , где  $k_{rep}$  – константа отталкивания [4, с. 115]. Подобные модели широко используются в задачах группового управ-

ления, таких как формирование формаций и навигация.

Для решения задачи рассредоточения в условиях ЧС, где связь может быть нестабильной или отсутствовать, критически важен децентрализованный подход к управлению. Методы консенсуса обеспечивают координацию между роботами без центрального управления, что особенно актуально в рассматриваемом сценарии. Роботы обмениваются информацией (когда это возможно) и достигают согласия по общей цели. Эти методы часто реализуются с помощью алгоритмов распределенного согласования. Например, алгоритм согласования среднего значения может быть представлен как  $x_i(t+1) = x_i(t) + \epsilon \sum_{j \in N_i} (x_j(t) - x_i(t))$ , где  $x_i(t)$  – состояние робота  $i$  в момент времени  $t$ ,  $N_i$  – множество соседних роботов, а  $\epsilon$  – коэффициент согласования [3].

В контексте данной работы основное внимание уделяется разработке алгоритма рассредоточения, основанного на локальных правилах взаимодействия и не требующего постоянного обмена данными между всеми агентами. Предлагаемый алгоритм включает правила «разделения», «выравнивания» и «отталкивания». Правило «разделения» заставляет роботов сохранять минимальную дистанцию друг от друга, предотвращая столкновения. «Выравнивание» побуждает роботов двигаться в одном направлении с соседями, способствуя координированному перемещению. «Отталкивание» же обеспечивает равномерное распределение агентов в пространстве, действуя на близких расстояниях. Стайное поведение, реализуемое предложенным алгоритмом, можно описать с помощью трех компонентов: сближение, отталкивание и выравнивание. Это можно представить как  $v_i(t+1) = v_i(t) + \sum_{j \in N_i} (v_j(t) - v_i(t)) + \sum_{j \in N_i} (x_j(t) - x_i(t))$ , где  $v_i(t)$  – скорость робота  $i$  в момент времени  $t$ , а  $x_i(t)$  – его положение [7, с. 83].

Для оценки эффективности рассредоточения вводятся метрики, основанные на расчете среднего расстояния между агентами и дисперсии этих расстояний. Данные метрики позволяют количественно оценить степень покрытия области и равномерность распределения роботов. Важно отметить, что в отличие от многокритериальной оптимизации, которая ищет компромисс между различными критериями, в данной работе основное внимание уделяется достижению равномерного рассредоточения как основной цели.

#### Результаты моделирования алгоритма децентрализованного управления роем роботов для задачи рассредоточения

Компьютерное моделирование играет ключевую роль в оценке эффективности и адек-



ватности разработанных алгоритмов управления в условиях чрезвычайных ситуаций, особенно при нарушении или отсутствии надежной связи между агентами. С его помощью можно проанализировать различные сценарии, протестировать эффективность моделей и выявить потенциальные проблемы без риска для людей и оборудования. В контексте данной работы моделирование не только облегчает процесс разработки, но и позволяет предсказать поведение системы в сложных и непредсказуемых условиях ЧС, характеризующихся в том числе нестабильной коммуникацией.

Для проведения вычислительных экспериментов была разработана специализированная программная платформа, позволяющая моделировать поведение роя роботов в различных сценариях ЧС. Архитектура платформы представлена на рис. 1.

Основными компонентами платформы являются модуль моделирования, включающий классы Agent и Swarm, модуль визуализации, модуль сбора и анализа данных и модуль управления экспериментами. Класс Agent (рис. 2) реализует свойства и поведение отдельного агента, включая методы

для взаимодействия с другими агентами и окружающей средой.

Класс Swarm (рис. 3) агрегирует агентов и управляет их взаимодействием, предоставляя методы для расчета метрик эффективности, таких как среднее расстояние между агентами и его дисперсия.

В рамках данной работы была сформирована комплексная методика экспериментального исследования, направленная на всестороннюю оценку эффективности разработанного алгоритма децентрализованного рассредоточения. В качестве основной тестовой задачи было выбрано рассредоточение агентов на заданной площади как одна из базовых задач для роевых систем в условиях ЧС.

Методика включала три основные серии экспериментов, каждая из которых была направлена на изучение влияния определенного параметра системы на эффективность рассредоточения:

- исследование влияния размера роя;
- анализ влияния радиуса отталкивания;
- оценка влияния силы отталкивания.

В качестве метрик эффективности использовались:

- среднее расстояние между агентами;

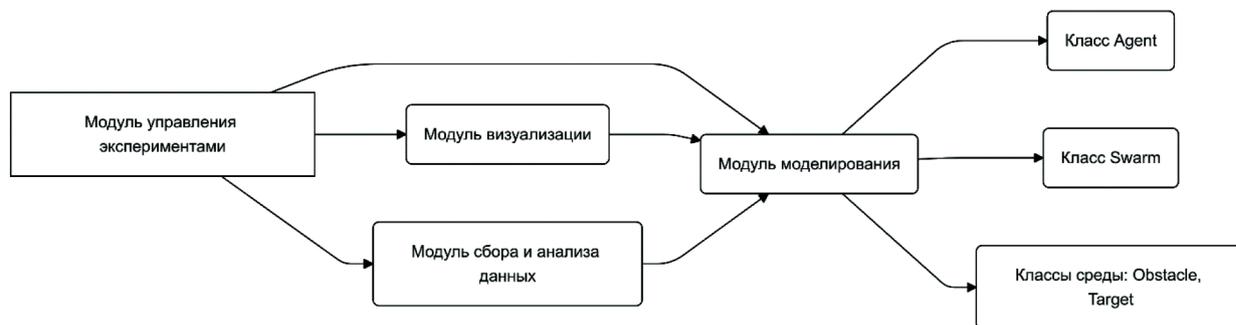


Рисунок 1. Архитектура программного комплекса

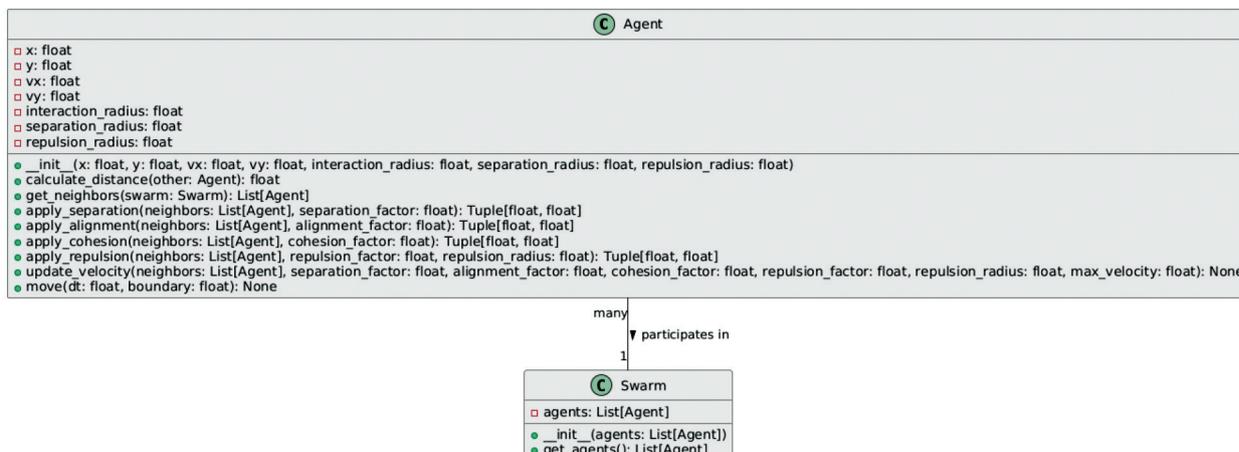


Рисунок 2. UML-диаграмма класса Agent

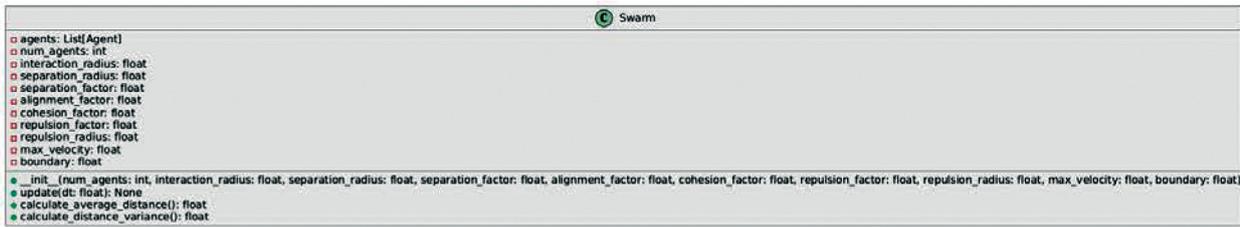


Рисунок 3. UML-диаграмма класса Swarm

- дисперсия расстояний;
- время установления стационарного состояния.

На рис. 4 показано пространственное распределение агентов для случая  $N = 100$  по результатам одного из вычислительных экспериментов.

Визуально агенты распределены относительно равномерно, однако для получения количественных характеристик проводился цикл экспериментов для каждого варианта количества агентов с последующим усреднением результатов.

Первая серия экспериментов была посвящена исследованию влияния количества агентов на характеристики процесса рассредоточения. Эксперименты проводились с четырьмя различными размерами роя: 10, 50, 100 и 200 агентов. Количественные результаты влияния размера роя на характеристики рассредоточения представлены в табл. 1.

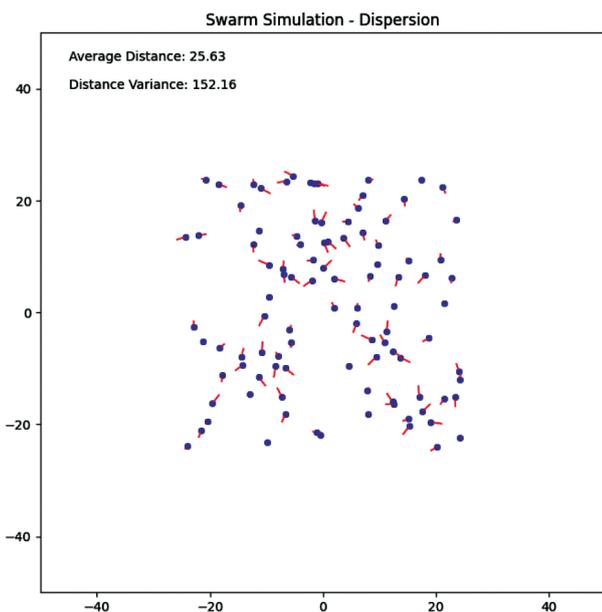


Рисунок 4. Пространственное распределение агентов при рассредоточении ( $N = 100$ )

Таблица 1. Влияние размера роя на характеристики рассредоточения

Количество агентов	Время установления (с)	Среднее расстояние	Дисперсия расстояний
10	12.3	25.3	15.5
50	18.7	15.8	8.2
100	24.5	12.5	5.1
200	32.1	9.8	3.7

Эмпирические данные демонстрируют, что с увеличением количества агентов наблюдается закономерное уменьшение среднего расстояния между ними и снижение дисперсии расстояний, что свидетельствует о более равномерном распределении агентов в пространстве. Однако при этом увеличивается время установления стационарного состояния, что необходимо учитывать при планировании операций в условиях ЧС.

Динамика изменения среднего расстояния между агентами для различного количества агентов представлена на рис. 5.

Вторая серия экспериментов была направлена на исследование влияния радиуса отталкивания на процесс рассредоточения. Эксперименты проводились с тремя значениями радиуса: 2, 5 и 10 единиц. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2. Влияние радиуса отталкивания на характеристики рассредоточения

Радиус отталкивания	Время установления (с)	Среднее расстояние	Дисперсия расстояний
2	28.4	6.5	3.1
5	22.1	12.8	5.4
10	19.7	20.1	8.9

Увеличение радиуса отталкивания приводит к увеличению среднего расстояния между агентами и росту дисперсии расстояний. При этом время установления стационарного состояния уменьшается с увеличением радиуса отталкивания, что может быть критично в условиях необходимости быстрого развертывания роя в зоне ЧС.

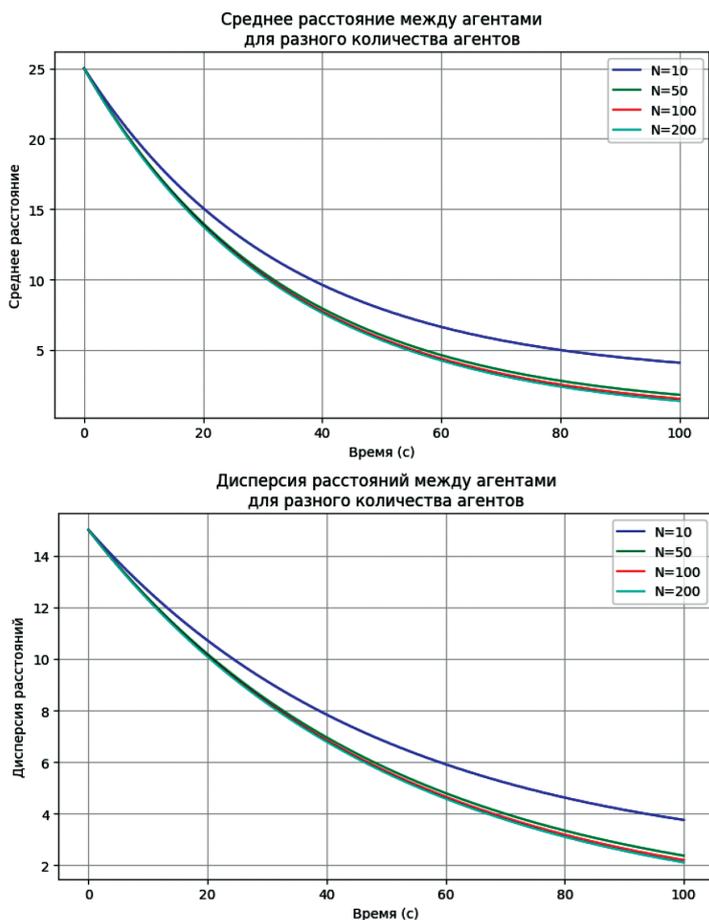


Рисунок 5. Динамика среднего расстояния для разного количества агентов

Зависимость среднего расстояния от времени для разного радиуса отталкивания показана на рис. 6.

Третья серия экспериментов была посвящена исследованию влияния силы отталкивания на характеристики процесса рассредоточения. Эксперименты проводились с тремя значениями коэффициента отталкивания: 0.1, 0.5 и 1.0. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3. Влияние силы отталкивания на характеристики рассредоточения

Сила отталкивания	Время установления (с)	Среднее расстояние	Дисперсия расстояний
0.1	35.2	5.2	2.8
0.5	24.5	10.5	4.5
1.0	18.9	18.3	7.8

Анализ данных показывает, что увеличение силы отталкивания приводит к более быстрому установлению стационарного состояния и большему среднему расстоянию между агентами. Однако при этом увеличивается дисперсия расстояний, что может свидетель-

ствовать о менее равномерном распределении агентов.

Зависимость среднего расстояния от времени для разной силы отталкивания показана на рис. 7.

На основе проведенных экспериментов можно сформулировать следующие ключевые выводы.

1. Размер роя оказывает существенное влияние на характеристики рассредоточения. С увеличением количества агентов среднее расстояние между ними уменьшается, а равномерность распределения повышается, о чем свидетельствует снижение дисперсии расстояний. Однако при этом увеличивается время установления стационарного состояния, что необходимо учитывать при планировании операций в зоне ЧС.

2. Радиус отталкивания значительно влияет на конечную конфигурацию роя. Большой радиус приводит к большему среднему расстоянию между агентами, что позволяет охватить большую территорию, но снижает плотность покрытия. Оптимальный выбор данного параметра зависит от конкретной задачи и условий среды.

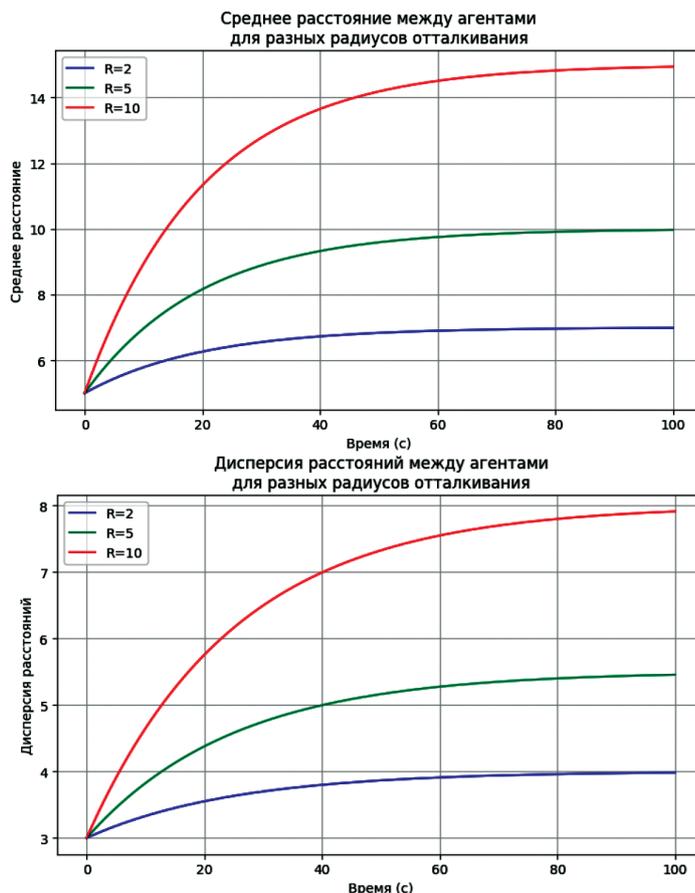


Рисунок 6. Зависимость среднего расстояния от времени для разного радиуса отталкивания

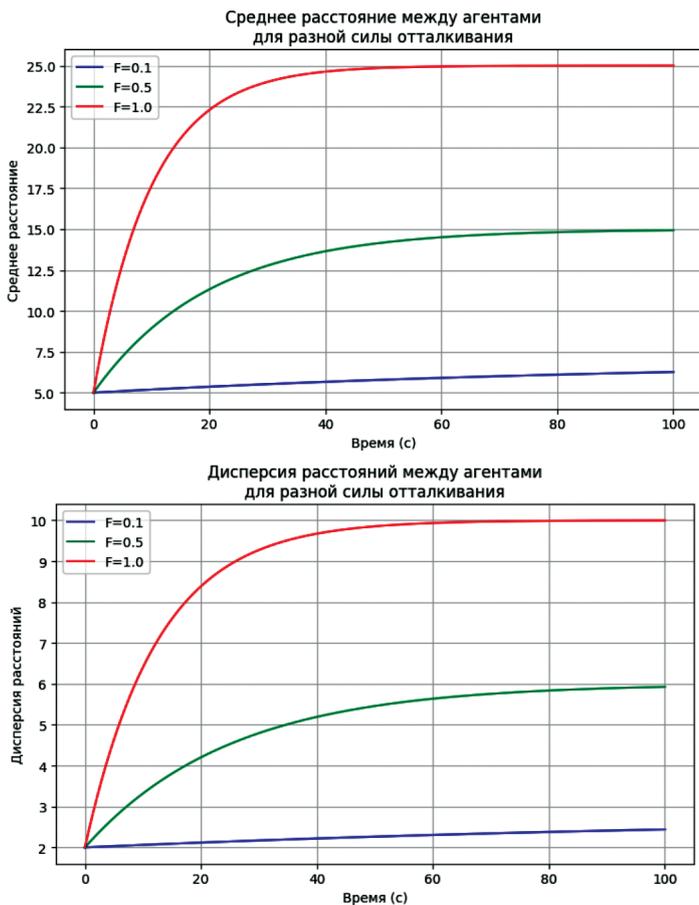


Рисунок 7. Зависимость среднего расстояния от времени для разной силы отталкивания

3. Сила отталкивания определяет динамику процесса рассредоточения. Увеличение данного параметра обеспечивает более быстрый выход на стационарное состояние, что может быть критично в условиях необходимости оперативного реагирования в зоне ЧС.

Полученные результаты имеют практическое значение для применения роевой робототехники в условиях ЧС. Разработанные модели и алгоритмы позволяют эффективно решать задачу рассредоточения роя роботов в условиях нарушенной инфраструктуры связи, что подтверждается результатами компьютерного моделирования.

Для различных сценариев применения роевых систем в зонах ЧС можно сформулировать следующие рекомендации по выбору параметров.

1. Для получения максимально равномерного распределения агентов следует использовать умеренные значения силы отталкивания (около 0.5) и выбирать радиус отталкивания, сопоставимый со средним желаемым расстоянием между агентами.

2. Для быстрого рассредоточения, когда требуется оперативное покрытие территории, рекомендуется увеличить силу отталкивания и использовать больший радиус отталкивания, однако следует

учитывать, что распределение может быть менее равномерным.

3. Для оптимального соотношения скорости и равномерности рассредоточения рекомендуется устанавливать силу отталкивания около 0.5, использовать радиус отталкивания 5–7 единиц, и ограничивать количество агентов в зависимости от размера обследуемой области.

Экспериментальные результаты также выявили потенциальные направления для дальнейшего совершенствования разработанных алгоритмов, включая реализацию адаптивных механизмов настройки параметров в зависимости от текущего состояния системы и исследование влияния начального распределения агентов на процесс рассредоточения.

### Заключение

В данной статье был проведен анализ задачи рассредоточения роя роботов в зонах чрезвычайных ситуаций, с акцентом на разработку и исследование алгоритмов децентрализованного управления в условиях слабой или разрушенной инфраструктуры связи. На основе проведенного исследования можно сформулировать следующие ключевые тезисы.

1. Роевой подход в робототехнике демонстрирует высокую эффективность в сценариях ЧС благодаря децентрализованному управлению, самоорганизации и адаптации к изменениям среды, особенно при решении задачи рассредоточения.

2. Разработанный алгоритм рассредоточения, основанный на локальных правилах взаимодействия между агентами (разделение, выравнивание, отталкивание), позволяет эффективно координировать действия роботов в условиях ЧС без необходимости постоянного обмена информацией между всеми агентами.

3. Введенные метрики (среднее расстояние между агентами, дисперсия расстояний) дают возможность количественно оценивать эффективность рассредоточения роя.

4. Компьютерное моделирование на разработанной авторами платформе подтверждает работоспособность предложенного алгоритма управления, однако требуется дальнейшая верификация в реальных условиях.

5. Размер роя, радиус отталкивания и сила отталкивания оказывают существенное влияние на характеристики процесса рассредоточения, что было продемонстрировано в результатах моделирования и учтено при формулировании рекомендаций.

Перспективные направления дальнейших исследований включают следующее.



1. Разработку специализированных методов коммуникации между роботами в условиях разрушенной инфраструктуры, устойчивых к помехам и перебоям.

2. Совершенствование алгоритмов рассредоточения с учетом динамически изменяющейся среды и гетерогенности роя.

3. Интеграцию алгоритмов машинного обучения для повышения адаптивности роев к изменениям внешней среды и автономности принятия решений.

4. Проведение натуральных экспериментов с реальными робототехническими платформами для верификации результатов моделирования и оценки влияния факторов, не учтенных в симуляции.

Реализация этих направлений исследований позволит создать более надежные и адаптивные системы управления роем для эффективного применения в чрезвычайных ситуациях. Дальнейшее развитие данного направления требует междисциплинарного подхода и тесного сотрудничества исследователей, разработчиков и специалистов по чрезвычайным ситуациям.

#### ИСТОЧНИКИ

1. Dorigo M., Theraulaz G., Trianni V. Swarm Robotics: Past, Present, and Future [Point of View] // Proceedings of the IEEE. 2021. Vol. 109. No. 7. P. 1152–1165.

2. Cassandras C.G., Lafortune S. Introduction to Discrete Event Systems. Springer, 2021. 918 p.

3. Amelin K., Amelina N., Granichin O., Sergeev S. Decentralized group control of autonomous robots swarm without data routing // Robotics and Autonomous Systems. 2022. Vol. 48. 103930.

4. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 280 с.

5. Капустян С.Г., Мельник Э.В. Системный анализ требований и оптимизация состава группы роботов в задаче мониторинга окружающей среды // Вестник ЮУрГУ. Серия: Математика. Механика. Физика. 2024. № 2. С. 67–78.

6. Старов Д.В., Корякова В.А. Методика управления автономной группой многороторных летательных аппаратов // Современные инновации, системы и технологии. 2024. № 1. С. 34–45.

7. Зикратов И.А., Зикратова Т.В., Новиков Е.А. Алгоритм защиты роевых робототехнических систем от атак вредоносных роботов с координированной стратегией поведения // Труды учебных заведений связи. 2024. № 3. С. 75–86.

8. Latif E., Song W., Parasuraman R. Communication-Efficient Reinforcement Learning in Swarm Robotic Networks for Maze Exploration // IEEE Transactions on Robotics. 2023. Vol. 39. No. 3. P. 1612–1626.

9. Васильев С.Н. Интеллектуальное управление динамическими системами. М.: Физматлит, 2020. 352 с.

#### References

1. Dorigo M., Theraulaz G., Trianni V. Swarm Robotics: Past, Present, and Future [Point of View]. Proceedings of the IEEE, 2021, vol. 109, No 7, pp. 1152–1165.

2. Cassandras C.G., Lafortune S. Introduction to Discrete Event Systems. Springer, 2021, 918 p.

3. Amelin K., Amelina N., Granichin O., Sergeev S. Decentralized Group Control of Autonomous Robot Swarm without Data Routing. Robotics and Autonomous Systems, 2022, vol. 148, 103930.

4. Kalyayev I.A., Gayduk A.R., Kapustyan S.G. Models and Algorithms for Collective Control in Robot Groups. Moscow, FIZMATLIT, 2009, 280 p.

5. Kapustyan S.G., Melnik E.V. System Analysis of Requirements and Optimization of the Composition of a Robot Group in Environmental Monitoring Tasks. Bulletin of South Ural State University. Series: Mathematics. Mechanics. Physics, 2024, No 2, pp. 67–78.

6. Starov D.V., Koryakova V.A. Methodology for Controlling an Autonomous Group of Multirotor Aircraft. Modern Innovations, Systems, and Technologies, 2024, No 1, pp. 34–45.

7. Zikratov I.A., Zikratova T.V., Novikov E.A. Algorithm for Protecting Swarm Robotic Systems from Attacks by Malicious Robots with Coordinated Behavior Strategy. Proceedings of Educational Institutions of Communication, 2024, No 3, pp. 75–86.

8. Latif E., Song W., Parasuraman R. Communication-Efficient Reinforcement Learning in Swarm Robotic Networks for Maze Exploration. IEEE Transactions on Robotics, 2023, vol. 39, No 3, pp. 1612–1626.

9. Vasilyev S.N. Intelligent Control of Dynamic Systems. Moscow, Fizmatlit, 2020, 352 p.



# Интеллектуальная система планирования изготовления продукции в условиях опытного производства

**А.Н. Феофанов**

*д-р техн. наук, профессор, МГТУ «СТАНКИН», вице-президент проблемного отделения «Квалиметрия» Академии проблем качества (АПК); Москва*

**А.С. Терешонок**

*аспирант, МГТУ «СТАНКИН»; Москва*

**Аннотация.** Планирование изготовления деталей и сборочных единиц в условиях опытного производства является одной из сложнейших и не до конца решенных задач. Максимально точное определение сроков выполнения заказов на изготовление продукции в условиях опытного производства является главной целью предлагаемой системы планирования.

**Ключевые слова:** система планирования, опытное производство, штрихкодирование, нормативно-справочная информация, коэффициент производительности.

**Summary.** Planning the production of parts and assembly units in pilot production conditions is one of the most complex and not fully solved problems. The most accurate determination of the terms of execution of orders for the production of products in pilot production conditions is the main goal of the proposed planning system.

**Keywords:** *planning system, pilot production, barcoding, reference information, productivity coefficient.*

## Введение

В условиях повышения напряженности и нестабильности в мире одним из главных факторов обороноспособности страны является выпуск новой и модернизация уже находящейся на вооружении военной техники. Выполнение задач по созданию и модернизации техники осуществляют специальные опытные производства. Необходимость

создания опытных производств осознали в нашей стране в первой половине прошлого столетия. В то время это были полноценные опытно-конструкторские бюро, которые состояли, как правило, из конструкторского бюро и производственного комплекса. В настоящее время большинство опытных производств представляют собой отдельный цех или даже участок, который находится при серийном заводе [1].

На основе данных, собранных Высшей школой экономики в 2023 г. [2], можно построить следующий график (рис. 1), который наглядно отражает статистику закрытия-открытия конструкторских организаций и опытных заводов.

График демонстрирует тот факт, что число конструкторских организаций в период с 2000 по 2021 г. сократилось с 318 до 233, а число опытных заводов осталось на прежнем уровне – 34 предприятия. Отсутствие роста опытно-конструкторских организаций объясняется тем, что для их поддержания требуется внешнее финансирование, которого не всегда достаточно для сохранения организации. Это связано с тем, что затраты на проведение НИ-ОКР для выпуска нового изделия в несколько раз выше, чем стоимость выпуска уже разработанного изделия. Себестоимость изготовления изделия в первый год его выпуска обходится предприятию как минимум в 2 раза выше, чем в пятый год выпуска [3]. Поэтому, казалось бы, выгоднее производить как можно дольше разработанные ранее изделия, чем осваивать выпуск новых. Но дело в том, что изделия быстро физически и морально устаревают и в конечном итоге их выпуск придется прекратить из-за низкого спроса на них.

Для повышения прибыли производства необходимо снижение себестоимости продукции [4]. Себестоимость продукции включает оплату труда основных и вспомогательных рабочих. При повременной оплате труда рабочего и неполной его загрузке в течение всего рабочего дня, что имеет место в опытном производстве, необоснованно повышается себестоимость опытной продукции. При планировании загрузки рабочих и оборудования в опытном производстве не учитываются многие, казалось бы, несущественные факторы. Учет максимально возможного количества факторов при

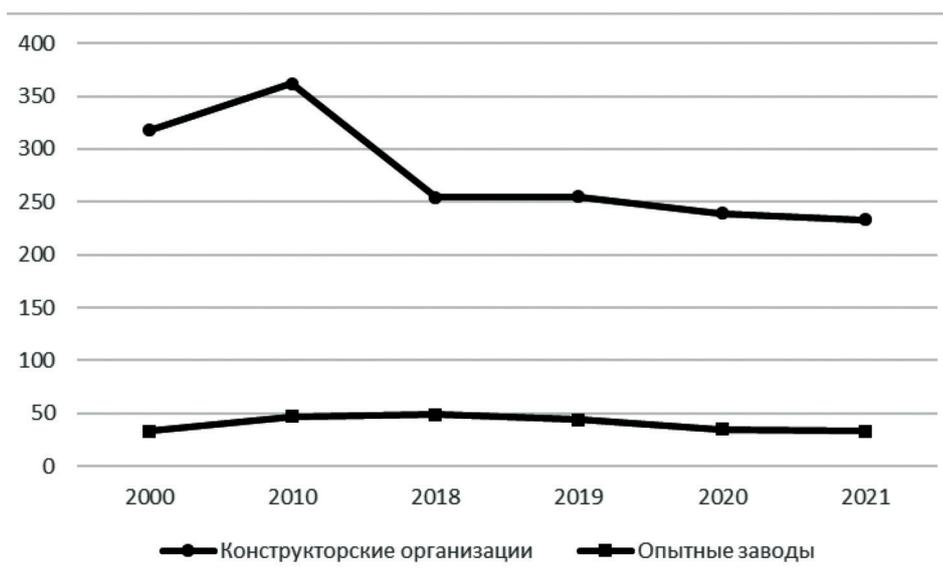


Рисунок 1. Численность конструкторских организаций и опытных заводов, 2000–2021 гг.

планировании производства позволит наилучшим образом избежать узких мест при изготовлении продукции и, соответственно, повысить прибыль организации.

Для сохранения опытных производств, не имеющих стабильного собственного дохода, необходимо если не выйти на самоокупаемость, то хотя бы снизить издержки производства за счет исключения простоев оборудования и рабочего персонала. Таким образом, поставленная задача является актуальной для ее решения в современных условиях.

### Виды производственных планов

При определении классификации внутризаводского планирования можно ограничиться тремя основными графами, определяющими форму и содержание планирования [3]:

- планирование, основанное на обязательности выполнения принятого плана;
- планирование, основанное на сроке действия составленного плана;
- планирование, основанное на содержании утвержденного плана.

Первая группа планирования делится на директивное и индикативное планирование. При составлении директивного плана предприятия подробным образом учитываются текущие особенности и возможности изготовления продукции предприятием. Это необходимо с той целью, чтобы директивный план был наилучшим образом связан с текущими реалиями производства и этот план можно было выполнить в срок. Индикативное планирование является антиподом директивному. Если при директивном планировании разрабатывается обязательный для исполнения план изготовления продукции, то индикативное планирование – это процесс разработки укрупненного государствен-

ного плана по развитию каждой отдельной отрасли промышленности. В редких случаях при индикативном планировании могут появляться обязательные задания для конкретного предприятия.

Вторая группа включает четыре вида планирования: долгосрочное, среднесрочное, краткосрочное и оперативное планирование. Долгосрочное планирование составляется на срок от 5 лет. Основой для составления долгосрочного плана предприятия является комплексный прогноз, составляемый на более длительный срок, чем сам план. Среднесрочный план составляется на срок от 1 до 5 лет. Краткосрочное планирование необходимо для детализации среднесрочного плана предприятия и составляется ровно на 1 год. Оперативное планирование детализирует краткосрочное планирование и необходимо для выполнения задач календарного планирования и диспетчеризации.

Третья группа характеризуется содержанием планов и включает стратегическое, тактическое и оперативно-производственное планирование. Стратегическое и тактическое планирование тесно связаны между собой. Стратегическое планирование отвечает на вопрос «что делать?», а тактическое планирование дает ответ «как делать». Оперативно-производственное планирование завершает процесс планирования деятельности предприятия и включает нормирование операций технологических процессов изготовления деталей и сборочных единиц, оперативную подготовку рабочих мест и диспетчеризацию.

### Методы планирования

На промышленном предприятии в зависимости от условий могут применяться три различных метода планирования [5]:

- прогрессивный метод планирования;



- ретроградный метод планирования;
- круговой метод планирования.

При выборе прогрессивного метода планирования каждый цех самостоятельно составляет свой план-график изготовления продукции и передает его на верхний уровень предприятия. Ретроградный метод планирования предполагает разработку плана изготовления продукции на верхнем уровне предприятия и передачу этого плана до цехов. Далее каждый цех самостоятельно составляет внутрицеховые планы-графики. Самым гибким из всех методов планирования является круговой метод, который предусматривает, что основные задачи перед цехами ставятся сверху, а цехи самостоятельно составляют планы-графики по изготовлению обозначенной продукции.

### Модель планирования

Под математической моделью принято понимать совокупность соотношений (уравнений, неравенств, логических условий), определяющих характеристики состояний объекта моделирования, а через них и выходные значения – реакции, в зависимости от параметров объекта-оригинала, входных воздействий, начальных и граничных условий, а также времени [6].

При поиске оптимального плана изготовления деталей и сборочных единиц в условиях опытного производства основной целью ставится как оптимальная загрузка оборудования, так оптимальная загрузка рабочих. Это связано с тем, что в опытном производстве в современных условиях все же остается часть операций, выполняемых с использованием ручного труда.

На основании сводных нормативов возможно проведение моделирования объемного планирования. Для этого рассчитывается суммарное значение  $S_j$  каждого  $j$ -го ресурса, необходимого для выполнения производственной программы по формуле (1) [7]:

$$S_j = \sum_{i=1}^N K * C_{ij} \quad (1)$$

где  $i$  – номенклатура изделий в производственной программе;

$N$  – общее количество различной номенклатуры изделий;

$K$  – количество изделий номенклатуры  $i$ ;

$C_{ij}$  – сводный норматив  $j$ -го ресурса для номенклатуры  $i$ .

При этом суммарное значение  $S_j$  каждого  $j$ -го ресурса не должно превышать суммарного значения имеющегося на предприятии ресурса  $R_j$ :

$$0 \leq S_j \leq R_j \quad (2)$$

Данная математическая модель имеет один существенный недостаток – она не учитывает цикл из-

готовления продукции. Так, в начале изготовления деталей могут быть перегружены заготовительные ресурсы, а при окончательной сборке – сборочные. Эту проблему помогает решить производственный цикл изготовления изделия.

Таким образом, можно получить математическую модель, при помощи которой можно наиболее точным образом сформулировать производственный план предприятия.

Для работы данной математической модели необходимо использовать нормативно-справочную информацию (НСИ), которая является неким идеалом, усредняющим деятельность всего предприятия. При этом на многих предприятиях НСИ является устаревшей и перестает отвечать современным условиям. Актуализация НСИ требует значительных трудозатрат, и иногда на предприятии нет ответственного персонала, который отвечает за поддержание НСИ в актуальном состоянии.

На основании данных исследования [8] было определено, что люди работают с разной производительностью в зависимости от времени суток, дня недели и месяца года. Так, максимальная производительность наблюдается в 11 часов утра, что

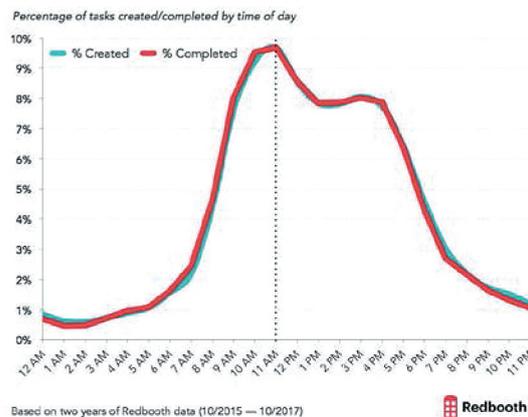


Рисунок 2. Зависимость производительности труда от времени суток

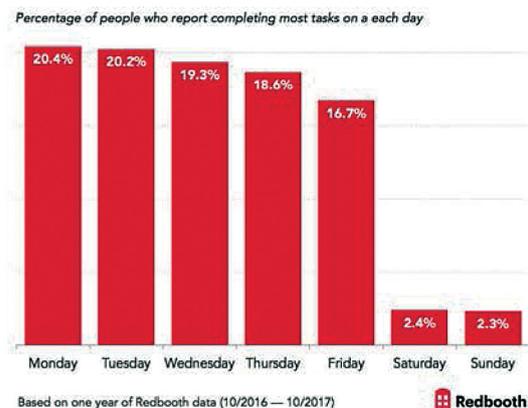


Рисунок 3. Зависимость производительности труда от дня недели



в большинстве случаев соответствует времени перед началом обеда, а после обеда производительность труда снижается (рис. 2).

Самым продуктивным днем недели, по данным компании Redbooth, является понедельник, в последующие дни недели производительность снижается, вплоть до выходных (рис. 3).

И наконец, производительность труда зависит от времени года. В январе – самая низкая активность, а в октябре наблюдается пик выполнения задач. При группировке месяцев по сезонам наблюдается аналогичная картина – осень является наиболее продуктивным временем года (рис. 4).

Производительность труда не является чем-то фиксированным, какой она представляется в базах НСИ. Например, норма времени, рассчитанная на выполнение токарной операции, вполне вероятно, что не будет соответствовать фактической производительности труда рабочего в какой-то из дней недели.

Данные, приведенные на рис. 2–4, являются усредненными показателями, не учитывающими пол, возраст и образование сотрудника. Это является ограничением данного исследования для его использования в математической модели планирования. К тому же исследование проводилось в разных компаниях, выполняющих разные функции. Результаты исследования можно использовать только лишь с той целью, чтобы убедиться, что использование строго регламентированных баз данных НСИ без их корректировки в качестве справочника для интеллектуальной системы планирования предприятия может оказаться не самой лучшей идеей.

В рассматриваемой модели планирования изготовления продукции, НСИ информация будет содержаться не в статических справочниках, которые будут требовать ручного обновления, а она будет формироваться на основе данных, полученных непосредственно с производственных участков.

Для реализации автоматического формирования НСИ на каждом участке производства необходимо установить компьютер с программным обеспечением, фиксирующим начало и конец выполнения операции. При этом будет фиксироваться идентификатор рабочего – табельный номер.

На практике такая система работает следующим образом: для каждого рабочего изготавливается карточка с личным штрихкодом, в котором закодирован его табельный номер. На маршрутных картах напротив каждой операции формируется штрихкод.

Перед началом выполнения операции рабочий сканирует свою личную карточку, тем самым авторизируясь в системе, и далее сканирует штрихкод планируемой к выполнению операции. После завершения выполнения операции рабочий так же сканирует свою личную карточку и штрихкод напротив выполненной операции. Таким образом фиксируется фактическая норма времени выполнения операции конкретным рабочим.

На основе базы данных, сформированной по фактическим нормам времени выполнения операций рабочими, будет формироваться усредненный показатель для каждой операции и фиксироваться в базе данных НСИ.

Зависимость коэффициента производительности  $E_{ij}$  для каждого  $j$ -го рабочего, выполняющего операции для изготовления номенклатуры  $i$ , будет определяться из отношения фактического показателя производительности рабочего  $Q_{\text{факт}}$  к номинальной норме времени  $Q_{\text{ном}}$  (3).

$$E_{ij} = \frac{Q_{\text{факт}}}{Q_{\text{ном}}} \quad (3)$$

При использовании формулы (1) для подсчета требуемого количества каждого ресурса сводный норматив  $C_{ij}$  в интеллектуальной системе планирования делится на коэффициент производитель-

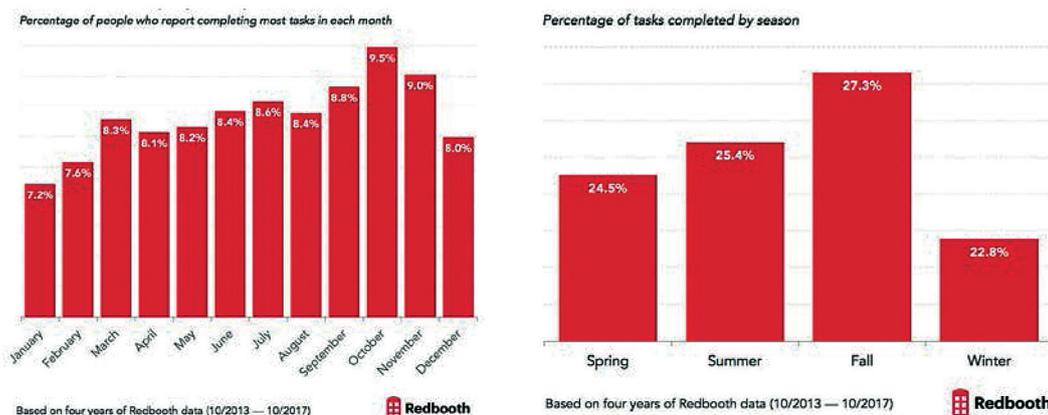


Рисунок 4. Зависимость производительности труда от месяца и времени года



ности  $E_{ij}$  каждого рабочего (4). Чем выше среднее значение коэффициента  $E_{ij}$ , тем меньше потребуется рабочих для изготовления ДСЕ заданной номенклатуры.

$$S_j = \sum_{i=1}^N K * \frac{C_{ij}}{E_{ij}} \quad (4)$$

Учитывая ограничение (2), производственный цикл изготовления и соотношение (4) можно получить оптимальный план изготовления продукции с учетом фактических показателей всех рабочих.

При составлении плана производства с учетом сотрудника, для которого либо нет, либо недостаточно данных для расчета «адекватного» коэффициента  $E_{ij}$ , необходимо использовать усредненный коэффициент «похожих» рабочих на рассматриваемого сотрудника. Иначе говоря, при подборе сотрудников для определения коэффициента  $E_{ij}$  необходимо использовать данные сотрудников одного пола, возраста и уровня образования.

## Заключение

Опытное производство должно максимально рациональным образом планировать использование имеющихся в его распоряжении ресурсов. Это необходимо для того, чтобы если не выйти на получение прибыли от изготовления опытной продукции, то хотя бы минимизировать возможные издержки.

В статье была предложена математическая модель планирования опытного производства. Данная модель может использоваться для директивно-оперативно-производственного планирования при ретроградном методе планирования.

## Источники

1. ОрANOVA М.В. Особенности планирования опытного производства на предприятиях машиностроения в современных условиях: специальность 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством (промышленность)»: Автореф. ... канд. техн. наук / ГОУВПО «Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского». Н. Новгород, 2009. 26 с.
2. Власова В.В., Гохберг Л.М., Дитковский К.А. и др. Наука. Технологии. Инновации. 2023: Краткий статистич. Сб. / Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». М.: НИУ ВШЭ, 2023. 102 с.
3. Новицкий Н.И., Пашуто В.П. Организация, планирование и управление производством: Учеб.-методич. Пособие. М.: Финансы и статистика, 2006. 576 с.
4. Кузьмина Е.Д., Бушенева Ю.И. Формирование и планирование себестоимости на предприятии // Проблемы и пути социально-экономического развития: город, регион, страна, мир. СПб.: ЛГУ имени А.С. Пушкина, 2017. С. 277–281.
5. Кулагин В.Е. Выбор системы планирования на промышленном предприятии: специальность 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством (эко-

номика, организация и управление предприятием, отраслями, комплексами: промышленность)»: Автореф. ... канд. экон. наук / СПбГУП. СПб., 2005. 20 с.

6. Гармаш А.Н., Орлова И.В. Математические методы в управлении: Учеб. пособие. М.: Узовский учебник: ИНФРА-М, 2012. 272 с.

7. Четвергов В.А., Зинец Н.С., Дьячков М.Е., Кобелев П.А. Создание модели плана производства на машиностроительном предприятии // Стратегическое развитие инновационного потенциала отраслей, комплексов и организаций. Пенза: Пензенский ГАУ, 2019. С. 281–285.

8 Everybody's Working for the Weekend, But When Do You Actually Get Work Done? [Электронный ресурс]. Redbooth. URL: <https://redbooth.com/blog/your-most-productive-time>

## References

1. Oranova M.V. Features of pilot production planning at mechanical engineering enterprises in modern conditions: specialty 08.00.05 «Economics and management of the national economy (industry)»: Abstract of a Cand. Sci. (Eng.) / State Educational Institution of Higher Professional Education «Nizhny Novgorod State University named after N.I. Lobachevsky». Nizhny Novgorod, 2009. 26 p.
2. Vlasova V.V., Gokhberg L.M., Ditkovsky K.A. et al. Science. Technologies. Innovations. 2023: Brief statistical collection / National Research University «Higher School of Economics». Moscow: National Research University Higher School of Economics, 2023. 102 p.
3. Novitsky N.I., Pashuto V.P. Organization, planning and management of production: Textbook.-method. Manual. Moscow: Finance and statistics, 2006. 576 p.
4. Kuzmina E.D., Busheneva Yu.I. Formation and planning of cost at the enterprise // Problems and ways of socio-economic development: city, region, country, world. St. Petersburg: Leningrad State University named after A.S. Pushkin, 2017. Pp. 277–281.
5. Kulagin V.E. Choice of planning system at an industrial enterprise: specialty 08.00.05 «Economics and management of the national economy (economics, organization and management of an enterprise, industries, complexes: industry)»: Abstract. ... Cand. of Economics / St. Petersburg State University of Economics. St. Petersburg, 2005. 20 p.
6. Garmash A.N., Orlova I.V. Mathematical Methods in Management: Textbook. manual. Moscow: University textbook: INFRA-M, 2012. 272 p.
7. Chetvergov V.A., Zinets N.S., Dyachkov M.E., Kobelev P.A. Creation of a production plan model at a machine-building enterprise // Strategic development of the innovative potential of industries, complexes and organizations. Penza: Penza State Agrarian University, 2019. Pp. 281–285.
- 8 Everybody's Working for the Weekend, But When Do You Actually Get Work Done? [Electronic resource]. Redbooth. URL: <https://redbooth.com/blog/your-most-productive-time>

# Особенность повышения качества работоспособности космонавтов в условиях обитаемой лунной базы на бортовой технической системе контроля и положения центра тяжести

## Л.Б. Строгонова,

д-р социол. наук, профессор, вице-президент  
д-р техн. наук, профессор, профессор  
кафедры 614 ФГБОУ ВО «Московский  
авиационный институт (национальный  
исследовательский университет)»; Москва  
e-mail: prstrogonova@mail.ru

## М.С. Баранов,

аспирант, старший преподаватель  
кафедры 614 ФГБОУ ВО «Московский  
авиационный институт (национальный  
исследовательский университет)»; Москва  
e-mail: maxibar@list.ru

**Аннотация.** Рассматриваются функциональная схема и методика функционирования бортовой технической системы с целью повышения качества исследований работоспособности космонавтов.

**Ключевые слова:** лунная база, работоспособность, пилотируемые полеты.

**Summary.** Joint research, materials, methods, equipment and mathematical processing of limited sample in space and clinical medicine (dentistry) are considered in order to improve the quality of research.

**Keywords:** lunar base, performance, manned flights.

## Введение

При длительном пребывании в условиях лунной гравитации результат программы полета зависит от физического состояния и обеспечения работоспособности экипажа. Техническая бортовая система обеспечения работоспособности космо-

навтов является частью комплекса систем жизнеобеспечения и служит для обеспечения безопасности нормального функционирования, мониторинга состояния членов экипажа, поддержания навыков профессиональной деятельности при воздействии негативных факторов длительного пребывания в неблагоприятных условиях нахождения в космическом полете или на планетах (рис. 1).

Однако для экспедиции к другим планетам, в том числе для лунной экспедиции, необходимо усовершенствовать техническую систему для создания принципиально новых блоков и систем, обрабатывающих информацию о работоспособности, поступающую на бортовое оборудование, либо реабилитации. Все это необходимо для безопасности экипажа, сохранения его работоспособности в период межпланетного полета и его пребывания на планетах, в том числе и на Луне. В исследованиях, посвященных изучению природы двигательных нарушений в условиях невесомости, доказана важная роль опорной афферентации в механизмах управления позной активностью, которая изменяется в условиях лунной гравитации и возвращается в исходное состояние в земных условиях, а также показана возможность компенсации негативных эффектов невесомости в мышечной системе с помощью адекватных мышечных нагрузок. На этой основе разработаны методы профилактики нервной системы во время длительных полетов – физические упражнения. Исследования, проведенные после космических полетов и в рамках наземного моделирования, показали, что микрогравитация оказывает негативное влияние на все сегменты структуры моторной системы – от структуры мышечных волокон до координации сложных произвольных движений. Устранение или снижение гравитационной нагрузки существенно изменяет функционирование практически всех перечисленных систем. В связи с изменением силы тяжести нарушается согласо-

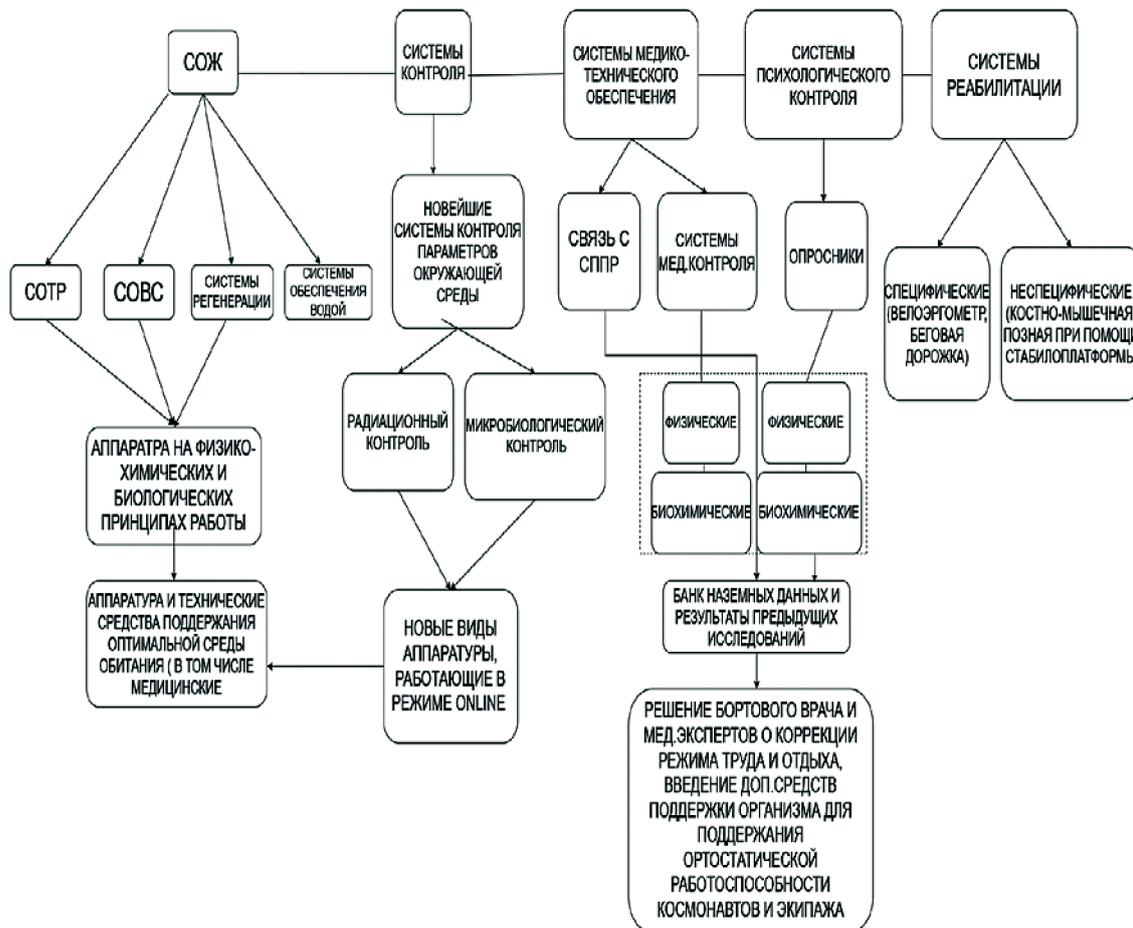


Рисунок 1. Система медико-технического обеспечения как часть аванпроекта лунной базы

ванное взаимодействие сенсорных систем, обеспечивающих процесс двигательного управления, значительные сдвиги возникают в состоянии исполнительного мышечного аппарата, что может привести к ошибкам в выполнении полетного задания [1, 2]. Следует заметить, что подобное изменение происходит у пациентов с нарушениями опорно-двигательного аппарата и циркуляции

крови. Поэтому разрабатываемая система интересна врачам-реабилитологам.

Таким образом, разработка конструкции, методик функционирования, системы поддержки принятия решений бортовой технической системы для поддержания работоспособности при длительной работе на обитаемой лунной базе является своевременной и актуальной (рис. 2).

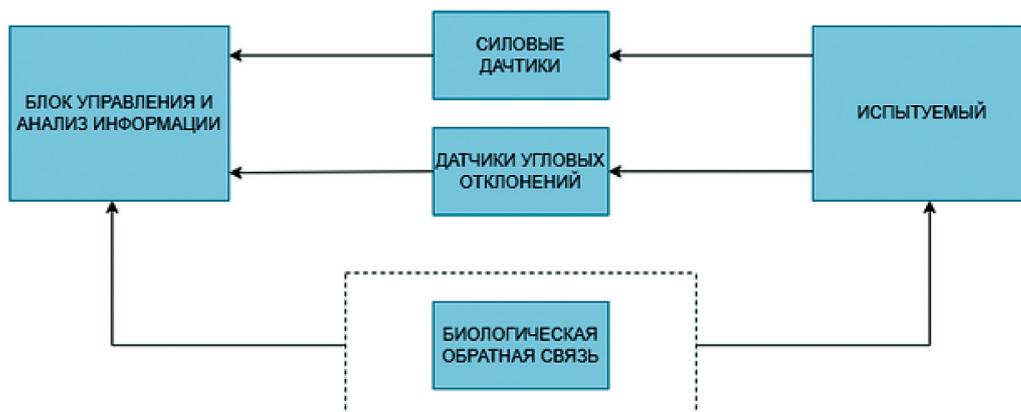


Рисунок 2. Функциональная блок-схема бортовой технической системы

### Контроль и положение центра тяжести на эюре

Актуальность и необходимость применения реабилитационных мер после инсульта, инфаркта, оперативных вмешательств и перенесенных черепно-мозговых травм часто зависит от того, насколько быстро получится восстановить двигательную активность.

Тренировка на нетвердой опоре:

- развивает равновесие и координацию движений;
- улучшает состояние у лиц с функциональным головокружением;
- повышает чувствительность стоп;
- тренирует тонкое управление мышцами баланса;
- снижает риск травматизма, связанного с потерей контроля равновесия;
- способствует развитию физической ловкости.

$$\sigma_x = \sqrt{D(X)} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - M(X))^2} \quad (1)$$

$$\sigma_x = \sqrt{D(X)} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - M(X))^2} \quad (2)$$

где D(X), D(Y) – дисперсия соответствующей компоненты;

N – число отсчетов в эксперименте;

σ – оценка среднеквадратического отклонения центра давления по соответствующему направлению относительно смещения;

Оценка смещения центра давления (M(X), M(Y)) – среднее значение положения центра давления по фронтоли и сагиттали:

$$Cov(X, Y) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - M(X)) (Y_i - M(Y)) \quad (3)$$

Площадь эюры правильного положения центра тяжести:

$$S = 2 \ln \frac{1}{1-\beta} \sqrt{D(X)D(Y) - Cov(X, Y)^2}, \quad (4)$$

где β – вероятность попадания точки стаатокинезиограммы в эюры правильного положения центра тяжести (β = 0,9).

Эюра правильного положения центра тяжести испытуемого на бортовой технической системе представлена на рис. 3.

### Изучение реакции на движущийся объект

Методика предназначена для изучения сложной пространственно-временной реакции человека на сигнал (объект), перемещающийся с заданной скоростью по определенной траектории. Главным условием точности реакции на движущийся объект (РДО) является правильная оценка момента достижения движущимся объектом определенной точки в пространстве (оценка времени). Время РДО зависит от процессов возбуждения и торможения в коре головного мозга, которые определяют дифференцировку времени. Это находит отражение в двойном характере ошибочных реакций – замедленном и опережающем. Ме-

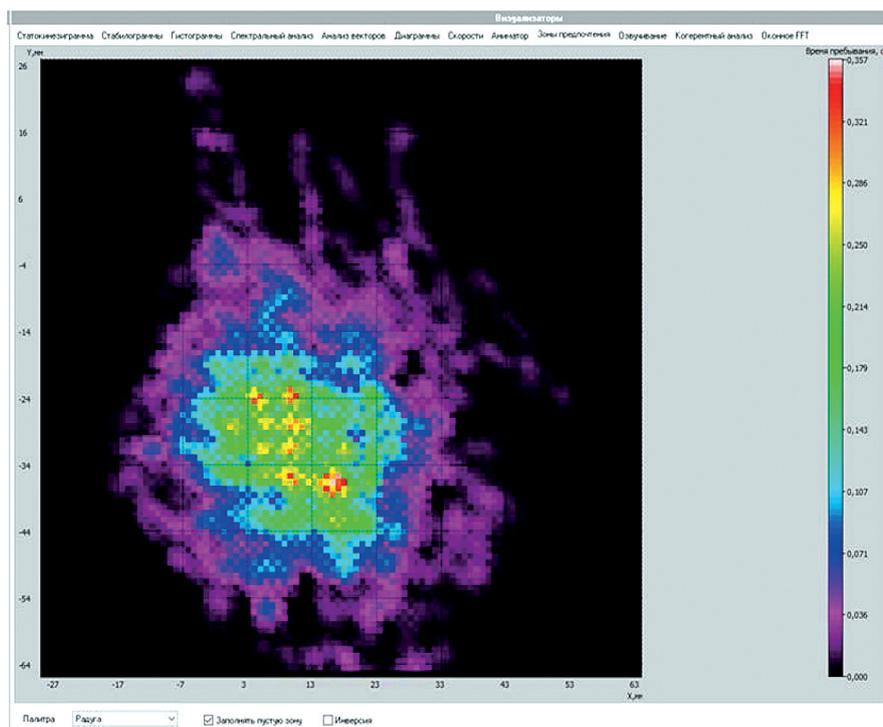


Рисунок 3. Эюра правильного положения центра тяжести испытуемого на бортовой технической системе

тодика РДО в определенной степени характеризует типологические особенности высшей нервной деятельности и темперамента человека. В то же время изменение функционального состояния ЦНС, вызванное утомлением или действием различных неблагоприятных факторов, отражается на характере ответных реакций.

Для оценки точности РДО испытуемому показывается на экране видеомонитора фигура, на которой представлена белая и черная точки, движущиеся с заданной скоростью по фигуре по часовой стрелке (рис. 4).

Испытуемый, наблюдая за движением черной точки, в момент предполагаемого совпадения положения с белой точкой нажатием кнопки STOP останавливает движение черной точки по фигуре. Затем компьютер вычисляет абсолютное значение ошибки несовпадения черной и белой точек (отклонение) и через заданное время возобновляет движение по фигуре.

$$T_p = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n}, \quad (5)$$

где  $t_i$  –  $i$ -тое отклонение черной и белой точек, мс;

$T_p$  – время реакции;

$n$  – число остановок черной точки в области положения белой точки.

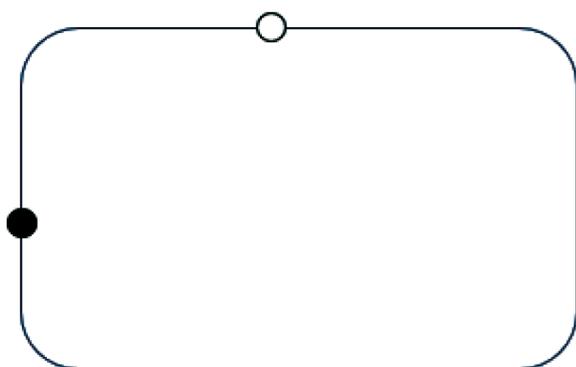


Рисунок 4. Тест «реакция на движущийся объект»

По значению времени реакции  $T$  на движущийся объект оценивается точность двигательных действий испытуемого.

В процессе вычисляется:

- средняя величина ошибок запаздывания;
- средняя величина ошибок упреждения;
- количество точных реакций;
- количество отстающих реакций;
- количество опережающих реакций;
- среднеарифметическое значение всех ошибок;
- сумма ошибок запаздывания;
- сумма ошибок упреждения.

Результаты проведенного теста представлены в таблице.

$X_1$  – время опережающих реакций;

$X_2$  – время запаздывающих реакций;

$X_1 + X_2$  – ошибка опережения или запаздывания.

### Система поддержки принятия решений для работоспособности

Для создания новых конструкций пилотируемых объектов и обеспечения работоспособности космонавтов необходимо усовершенствовать реабилитационно-адаптационную техническую систему для обеспечения работоспособности космонавтов. При этом выполнить программы полета к другим планетам, а также предотвратить чрезвычайные ситуации на борту космических аппаратов. Параметры работоспособности космонавта в системе поддержки принятия решений (СППР) необходимы для создания и адаптации алгоритмов функционирования технической адаптационно-реабилитационной системы [3, 4].

На рис. 5 представлены этапы при построении СППР технической адаптационно-реабилитационной системы.

СППР – система, предназначенная для прогнозирования, предотвращения ЧС, обеспечения безопасности профессиональной деятельности в экстремальных условиях длительных космических полетов. Структура СППР технической реабилитационно-адаптационной системы представлена на рис. 6.

#### Результаты проведения теста

Способ оценки соотношения процессов в центральной нервной системе		Результаты по расчетам	Итоговая оценка
Средняя величина ошибок запаздывания, мс		11	Преобладание процессов торможения
Количество реакций	Количество опережающих реакций	8	Преобладание процессов возбуждения
	Количество отстающих реакций	4	
Среднеарифметическое значение ошибок, мс		3,7	Преобладание процессов торможения
Суммы ошибок запаздывания, мс		79	Преобладание процессов торможения

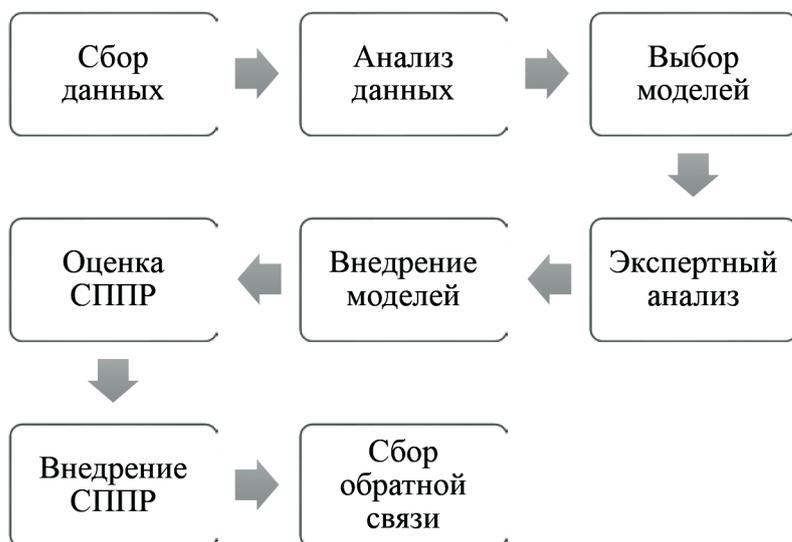


Рисунок 5. Этапы при построении СППР технической адаптационно-реабилитационной системы



Рисунок 6. Структура СППР технической реабилитационно-адаптационной системы

Адаптационно-реабилитационная система разрабатывается в условиях измененной гравитации:

- СППР технической адаптационно-реабилитационной системы обеспечит профессиональную деятельность в целях сохранения работоспособности лунной экспедиции в экстремальных условиях и обитаемой лунной базы;

- данная СППР способна прогнозировать управление центром тяжести космонавта и уровень работоспособности экипажа в условиях измененной гравитации;

- СППР способна заключить вероятностно-статистические выводы на основе байесовской классификации.

### Заключение

Применение данной бортовой технической системы, используемой в межпланетных космических полетах, видится авторам актуальным. Дальнейшее исследование повысит качество результата работоспособности космонавтов для выполнения полетных программ на обитаемой лунной базе,



а также в общей медицине для предотвращения травм стопы профессиональных спортсменов.

### Источники

1. Баранов М.С., Строгонова Л.Б. Методы математического моделирования при определении положения центра тяжести с учетом перераспределения крови в нижних конечностях у космонавтов в эксперименте «СТАБИЛО» // Научно-технический вестник Поволжья. 2022. № 6. С. 9–13.

2. Строгонова Л.Б., Васин Ю.А., Баранов М.С., Сафронова К.П. Структура системы поддержки принятия решений (СППР) для медико-технического обеспечения обитаемой лунной базы // На-

учно-технический вестник Поволжья. 2023. № 6. С. 114–117.

3. Афоничев Н.К., Баранов М.С., Васин Ю.А. Применение методов математического моделирования при определении методов положения трехглавой мышцы голени космонавтов в условиях измененной гравитации // Научно-технический вестник Поволжья. 2023. № 6. С. 34–37.

4. Строгонова Л.Б., Васин Ю.А., Баранов М.С. К вопросу выбора методов математической обработки сигналов, применяемых в системе реабилитации с биологической обратной связью в условиях измененной гравитации // Научно-технический вестник Поволжья. 2024. № 3. С. 59–61.

### References

1. Baranov M.S., Strogonova L.B. Methods of mathematical modeling in determining the position of the center of gravity, taking into account the redistribution of blood in the lower extremities of the astronauts in the Stabilo experiment. Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. 2022. N 6. P. 9–13.

2. Strogonova L.B., Vasin Yu.A., Baranov M.S., Safronova K.P. The structure of the decision support system (SPPR) for the medical and technical support of the inhabited lunar base. Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. 2023. N 6. P. 114–117.

3. Afonichev N.K., Baranov M.S., Vasin Yu.A. The use of mathematical modeling methods in determining the methods of the position of the three-headed muscle of the leg of astronauts in conditions of changed gravity. Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. 2023. N 6. P. 34–37.

4. Strogonova L.B., Vasin Yu.A., Baranov M.S. To the issue of choosing methods for mathematical processing of signals used in the rehabilitation system with biological feedback in conditions of changed gravity. Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. 2024. N 3. P. 59–61.

# Развитие инструментария обеспечения безопасности и управления защищенностью промышленных объектов в условиях угрозы высокой интенсивности воздействия факторов риска

## **Б.В. Бойцов,**

*д-р техн. наук, профессор, Московский авиационный институт (МАИ (НИУ)), научный руководитель кафедры 104 «Технологическое проектирование и управление качеством» МАИ (НИУ), первый вице-президент АПК; Москва*

## **В.Л. Балановский,**

*профессор, Академия военных наук, президент проблемного отделения АПК по комплексной безопасности; Москва*

## **И.Ю. Грунин,**

*член рабочей группы секции по безопасности Экспертного совета при Комитете Совета Федерации по обороне и безопасности, судебный строительно-технический эксперт, член-корр. АПК; Москва*

## **Л.В. Балановский,**

*член рабочей группы секции по безопасности Экспертного совета при Комитете Совета Федерации по обороне и безопасности, член экспертного совета МТПП, член-корр. АПК; Москва*

## **О.М. Писарева,**

*канд. экон. наук, доцент, директор Института информационных систем ГУУ, заведующая кафедрой математических методов в экономике и управлении; Москва*

## **Д.Н. Медников,**

*директор Центра цифровых технологий управления Института информационных систем ГУУ; Москва*

## **О.С. Буков,**

*эксперт по безопасности.*

**Аннотация.** В статье рассматриваются возможности совершенствования требований и модернизации систем обеспечения защищенности объектов и безопасности предприятий оборонно-промышленного комплекса. Научно-технологическое развитие в этой сфере обеспечивается проведением междисциплинарных и научно-технических исследований по приоритетным направлениям научно-технологического развития. В условиях угрозы высокой интенсивности воздействия факторов риска предлагается формировать процесс повышения эффективности обеспечения безопасности на основе принципов риск-ориентированной технологии информационного моделирования с учетом риска запроектных аварий, вызываемых воздействием внутренних, а не только внешних факторов. В результате создаются безопасные объекты, которые отвечают требованиям безопасности в условиях воздействия природных и техногенных факторов, требованиям по обеспечению защиты от угроз террористического и диверсионного характера, требованиям качества и культуры безопасности.

**Ключевые слова:** система обеспечения защищенности объекта, фактор риска, риск-ориентированная технология информационного моделирования, запроектная авария, требования качества и культуры безопасности.

**Summary.** The article discusses the possibilities of improving the requirements and modernization of systems for ensuring the security of facilities and the security of enterprises of the military-industrial complex. Scientific and technological development in this area is ensured by conducting interdisciplinary and scientific and technical research in priority areas of scientific and technological development. In the context of the threat of high-intensity exposure to risk factors, it is proposed to form a process for improving safety efficiency based on the principles of risk-based information modeling technology, taking into

account the risk of out-of-design accidents caused by internal, not only external factors. As a result, safe facilities are created that meet: safety requirements under the influence of natural and man-made factors; requirements to ensure protection from terrorist and sabotage threats; quality requirements and safety culture.

**Keywords:** facility security system, risk factor, risk-based information modeling technology, out-of-design accident, quality requirements and safety culture.

Последовательная реализация государственной политики укрепления национальной безопасности Российской Федерации в условиях трансформации системы мироустройства требует учета изменившегося профиля рисков критической промышленной и гражданской инфраструктуры страны. Всегда существовавшие внешние вызовы и ограничения суверенного развития России в современной ситуации обострения конкурентного соперничества с центрами силы и влияния уходящего глобального мирового порядка привели сначала к беспрецедентному санкционному давлению на российское государство, а затем перешли в фазу открытого вооруженного противоборства с ним. Задача повышения устойчивости национальной экономики и сохранения стабильности гражданского общества прежде всего потребовала ориентации системы публичной власти Российской Федерации на приоритетную реализацию мер по обеспечению экономической и технологической независимости страны. Вместе с тем помимо косвенного и опосредованного негативного влияния на цивилизационную целостность России с 2022 г. проявились факторы прямого и непосредственного внешнего разрушительного воздействия на весь комплекс промышленно-экономической и социальной инфраструктуры страны. Анализ накопленного опыта проведения Специальной военной операции (СВО) показал значительный рост частоты и существенное изменение характера воздействия актов незаконного вмешательства (АНВ)<sup>1</sup>, приводящих к нарушению и прекращению нормального функционирования тех или иных производственных и инфраструктурных объектов.

Особую опасность для сохранения потенциала устойчивости и витальности российского государства, поддерживающего способность противодействовать и ликвидировать внешние военные угрозы, представляют акции военного, диверсионного и террористического характера в отношении объектов оборонно-промышленного комплекса (ОПК) и критической инфраструктуры (КИ) страны. Длящаяся уже третий год СВО свидетельствует, что

указанная тенденция сохранится и в среднесрочной перспективе, а проявившиеся факторы риска сохранят свою угрозу и в случае реализации мер по мирному урегулированию конфликта<sup>2</sup> на территории бывшей УССР, учитывающих весь комплекс интересов Российской Федерации в области обеспечения национальной безопасности и предоставления международных гарантий поддержания мира. Это требует от разработчиков систем безопасности промышленных объектов обоснования и применения системных и масштабных мер по противодействию угрозам, согласованной и оперативной работы на опережение в условиях высокой неопределенности [1–3] (особенно при адаптации к изменениям условий функционирования опасных производств, создающих дополнительные риски для социальной инфраструктуры и экологической обстановки).

Отмеченные обстоятельства свидетельствуют о том, что для совершенствования требований и модернизации систем обеспечения защищенности объектов и безопасности предприятий ОПК требуется решение комплекса задач стратегического характера [4, 5], содержащих мероприятия по:

- анализу полноты, актуальности и обоснованности системы правовых, нормативных и технических требований к защите промышленных объектов;

- созданию научно-технического задела по новым отечественным высокоэффективным материалам, компонентам, конструктивным решениям инженерно-технической укрепленности строений, сооружений и технологических комплексов на промышленных объектах, организационным мероприятиям обеспечения безопасности на стадиях полного жизненного цикла, техническим средствам и интеллектуальным технологиям обнаружения и распознавания угроз для активизации протоколов комплексной защиты промышленных объектов для предотвращения и минимизации потенциального ущерба;

- обеспечению внедрения передовых технологий за счет использования отечественных высокопроизводительного специального автоматизированного технологического оборудования, робототехнических комплексов и программного обеспечения, поддерживающего применение нейросетевых, онтологических и когнитивных методов для систем искусственного интеллекта в контурах технологического и организационного управления;

- анализу состояния действующих производственных мощностей и обоснованию создания в кратчайшие сроки дополнительных производственных мощностей на существующих и новых промышленных площадках с реконструкцией и

строительством объектов с учетом повышенных требований защищенности на основе обобщения и систематизации новейшего опыта противодействия рискам АНВ;

– формированию распределенной автоматизированной информационной системы мониторинга в режиме реального времени признаков подготовки и осуществления противоправного воздействия на промышленные объекты с использованием возможностей цифровых технологий и искусственного интеллекта для обработки и анализа потоков информации.

В содержательном отношении для обеспечения безопасности и управления защищенностью объектов ОПК и КИ на современном уровне отмеченные выше и разрабатываемые дополнительно мероприятия должны согласованно отражать и комплексно охватывать следующие ключевые направления совершенствования инструментария:

– институциональные: адаптация правового регулирования и нормативного определения требований к уровню защищенности опасных производств (размещение объектов ОПК и КИ);

– технические: проектирование и строительство зданий и сооружений, конструирование и производство оборудования и механизмов технологических комплексов, проектирование монтаж элементов и систем обеспечения защищенности производственных и инфраструктурных объектов ОПК и КИ;

– организационные: адаптация функций и механизмов управления защищенностью производственных и инфраструктурных объектов ОПК и КИ (собственные и привлеченные силы и средства);

– информационно-технологические: разработка современных цифровых решений и аналитического обеспечения поддержки процессов мониторинга угроз, выявления рисков, поддержания штатного режима функционирования, предотвращения/минимизации ущерба объектам ОПК и КИ, включая последствия АНВ.

Естественным образом последнее из приведенных направлений определяет возможности, условия и подходы для решения актуальных проблем в рамках других сфер обеспечения защищенности объектов ОПК и КИ. Адекватность постановки и эффективность решения всего комплекса задач противодействия угрозам и рискам несанкционированного воздействия на системы опасного производства определяется широким внедрением цифровых технологий как в области проектирования технологического оборудования и объектов ОПК в защищенном исполнении, так и в области управления производством с внедрением технологий искусственного интеллекта и анализа больших

данных на стадиях прогнозирования, разработки и производства. Работы по проектированию и созданию прогнозно-моделирующего комплекса функционирования объектов должны осуществляться поэтапно, учитывая возможность сценарного планирования на основе прогноза поставок, оценки реализуемости заданий, комплексного многовариантного прогнозирования и планирования производства в мирное и военное время. Должна обеспечиваться эффективная внутренняя и внешняя кооперация работ, баланс загрузки мощностей и технологических процессов, формирование опережающих прогнозов по обеспеченности сырьем и материалами с планированием накопления их необходимых<sup>3</sup> текущих и страховых запасов.

Научно-технологическое развитие в этой сфере обеспечивается проведением междисциплинарных и научно-технических исследований по приоритетным направлениям научно-технологического развития [6–8]. С этой целью в соответствии с распоряжением Правительства РФ от 20 мая 2023 г. № 1315-р «Об утверждении Концепции технологического развития на период до 2030 года» должен проводиться комплекс работ для целеполагания, планирования, мониторинга и проведения экспертизы научных исследований в интересах технологического развития объектов ОПК по приоритетным направлениям критических и сквозных технологий в сфере безопасности.

Анализ показывает, что при формировании научно-технологического задела необходимо обеспечить оцифровку и использование архивных материалов по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам в части обеспечения безопасности и защищенности объектов ОПК с экспертизой востребованности результатов интеллектуальной деятельности. Необходимо определить перечень профильных институтов РАН и учреждений системы высшего образования, на базе которых должен осуществляться отбор, классификация и формирование электронных библиотек научных заделов по ранее проводившимся направлениям исследований. Также необходимо сформировать систему выявления, оценки и внедрения результатов инициативных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, инженерно-технических разработок и поисковых исследований по профилю комплексного учета и анализа рисков в интересах объектов ОПК и КИ. Для создания эффективного научно-технологического задела необходимо:

– формирование концептуальных подходов, методологического обеспечения и аналитического инструментария риск-ориентированного управления развитием объектов ОПК и КИ;



- исследование и моделирование целеполагания и управления стратегической защищенностью объектов в запроектных ситуациях;

- применение цифровых технологий проектирования технологического оборудования и объектов ОПК и КИ в защищенном исполнении;

- использование цифровых технологий определения и оценки факторов риска, обоснования и реализации мер по повышению защищенности объектов;

- управление производством с использованием современных информационно-аналитических технологий сбора и интеллектуальной обработки больших данных при прогнозировании, разработке, производстве;

- формирование концептуальных подходов и научных основ создания прогнозно-моделирующего комплекса для объектов ОПК и КИ с поддержкой задач сценарного моделирования в планировании их текущей деятельности и стратегического развития.

Анализ вида и интенсивности рисков и угроз, проведенный на базе применения риск-ориентированного подхода в рамках междисциплинарных и отраслевых научно-технических исследований, показывает, что проектирование, строительство и эксплуатацию опасных производственных объектов ОПК необходимо производить с учетом риска запроектных аварий (ЗА)<sup>4</sup>, вызываемых воздействием внутренних, а не только внешних факторов.

При этом необходимо учитывать, что отдельные положения Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»<sup>5</sup> и документов в области стандартизации<sup>6</sup> в условиях мирного времени являются обоснованными, но при СВО и в мобилизационных условиях, при изменении характера и уровня рисков необходимо «предоставление возможности установления экспериментальных правовых режимов в отдельных сферах технологических инноваций, не являющихся цифровыми инновациями». Такие временные изменения позволят значительно уменьшить стоимость строительства или реконструкции, сократить их сроки. Информационной базой для проведения работ с учетом реализации требований по комплексной безопасности и антитеррористической защищенности является риск-ориентированное информационное моделирование, основанное на лучших практиках и отраслевой нормативной базе.

Анализ показывает, что в последнее время остро обозначились проблемы объектов военной, производственной, транспортной, энергетической, социальной (места массового пребывания людей), информационной инфраструктур (в том числе объ-

ектов ОПК), атакованных, поврежденных и разрушенных в ходе боевых действий. Поэтому возникает необходимость оперативно принимать решения о сносе, восстановлении и реконструкции таких объектов, что требует проведения диагностики их технического состояния и уровня защищенности. При проектировании и проведении строительно-монтажных работ необходимо формирование комплексных решений для эффективных систем обеспечения защищенности (в том числе антитеррористической) объектов и управления ими в условиях аварий (включая режимы ЗА при осуществлении АНВ). При этом чем выше степень неопределенности и потенциальные последствия воздействия рисков на объект, тем выше должна быть проектная эффективность системы управления рисками (с очевидным повышением инвестиционных и эксплуатационных издержек для объектов ОПК и КИ с учетом высокой вероятности АНВ, что должно учитываться при бюджетном планировании соответствующих мероприятий обеспечения национальной безопасности). Такой подход связан с реализацией нормативно-правовых, экономических, организационных и иных мер, соответствующих угрозам техногенного, природного характера, АНВ, терактов и диверсий. Оценка их воздействия проводится с помощью мониторинга рисков, которая уже нормативно введена в отдельные законодательные акты РФ по вопросам обеспечения антитеррористической безопасности, при этом с 1 июля 2025 г. в РФ предусмотрена административная и уголовная ответственность за ненадлежащее исполнение нормативных документов по антитеррористической безопасности.

Основой для проектирования, строительства и эксплуатации безопасных объектов должна стать риск-ориентированная технология информационного моделирования (РО ТИМ), позволяющая формировать информационные модели (ИМ) объектов с учетом их конструктивных и технологических особенностей, рисков и угроз, возникающих при воздействии природных и техногенных факторов, АНВ, терактов и диверсий [9, 10]. РО ТИМ, в отличие от проектирования с применением ТИМ, предназначена для решения многоцелевых задач с учетом возникающих и развивающихся неопределенностей, новых поворотов в проблеме обеспечения безопасности объектов ОПК. Иначе говоря, тех нештатных условий, в которых они, например, функционируют при проведении СВО. Методологической основой и архитектурным решением построения подобных моделей может стать интеграция цифровых моделей описания строительных объектов<sup>7</sup> и технологических комплексов<sup>8</sup> с цифровой моделью угроз<sup>9</sup>, позволяющая проводить

комплексный анализ различных сочетаний имитационной реализации факторов риска и оценки характеристик устойчивости построения и функционирования промышленного предприятия (в различных вариантах внешнего воздействия<sup>10</sup> на систему опасного производства).

ИМ объектов ОПК создаются с использованием террористического форсайта и информации из государственных информационных систем (ГИС). Функционирование ГИС определяется ст. 14 Федерального закона от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации». Объекты ОПК, подключенные к ГИС, согласно приказу ФСТЭК от 11 февраля 2013 г. № 17 «Об утверждении требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в ГИС» (в ред. приказов ФСТЭК России от 15 февраля 2017 г. № 27 и от 28 мая 2019 г. № 106), аттестовывают свои системы и применяют средства защиты информации, имеющие действующие сертификаты ФСТЭК или ФСБ, прошедшие оценку в форме обязательной сертификации на соответствие требованиям ст. 5 Федерального закона от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании».

При применении РО ТИМ создаются безопасные объекты ОПК<sup>11</sup>, которые отвечают требованиям безопасности в условиях воздействия природных и техногенных факторов, требованиям по обеспечению защиты от угроз террористического и диверсионного характера, требованиям качества и культуры безопасности (профессиональное мастерство, знания, навыки, психофизическое здоровье).

РО ТИМ являются основой для объединения проектных решений и мероприятий, направленных на управление рисками воздействий природных и техногенных факторов, военных, террористических и диверсионных угроз. РО ТИМ реализуются аппаратно-программным технологическим и надзорным комплексом, обеспечивающим эффективную контрольно-надзорную деятельность на всех этапах жизненного цикла объекта ОПК и КИ: подготовительном, проектирования, строительства, эксплуатации. Комплекс включает модули контроля степени защиты от военных, террористических, диверсионных угроз в новых условиях изменения психологии людей и возникновения интеллектуального терроризма. РО ТИМ в отличие от ТИМ дополнительно включает разработку следующих информационных моделей:

– **0D – подготовительного этапа анализа защищенности объекта ОПК и КИ.** Построение ИМ: мониторинга территории объекта ОПК, окружающей территории, информации об объектах на

этих территориях, информации об объекте ОПК, подготовительных работ, предварительной оценки уязвимости объекта ОПК, системы антитеррористической защищенности и мероприятий сил безопасности на подготовительном этапе;

– **7D – оценки уязвимости объекта ОПК и КИ.** ИМ для оценки уровня обеспечения комплексной безопасности, антитеррористической защиты;

– **8D – проектные решения инженерно-технической укрепленности объекта ОПК и КИ [11].** ИМ мероприятий по усилению конструктивных элементов объекта ОПК, архитектурных и планировочных решений, отделки его помещений и технических средств, обеспечивающих обнаружение угроз, противодействие несанкционированному проникновению и поддержание антитеррористической защищенности, а также особой инженерной укрепленности специальных помещений для хранения и работы со служебной информацией ограниченного доступа;

– **9D – системы антитеррористической защищенности объекта ОПК и КИ.** ИМ размещения инженерно-технических средств охраны, систем видеонаблюдения, связи, оповещения и экстренной эвакуации, технических систем (средств) для обнаружения оружия, боеприпасов, взрывчатых веществ, радиоактивных, наркотических средств, токсичных химикатов, отравляющих веществ и патогенных биологических агентов, в том числе при получении почтовых отправлений, других опасных предметов и веществ;

– **10D – сценарии (мероприятия) комплексной безопасности и антитеррористической защиты объекта ОПК и КИ.** ИМ мероприятий комплексной безопасности и антитеррористической защиты по реагированию на сигналы от средств контроля безопасности, персонала объекта ОПК и КИ включает пути передвижения и действия сил безопасности объекта ОПК и КИ, МВД, МЧС, ФСБ, разработанные с использованием искусственного интеллекта на основе анализа оценки уязвимости объекта ОПК и КИ с учетом опыта СВО, анализа моделей нарушителя и сценария его действий.

В связи с тем что риски, в том числе военные и террористические, растут, а технологии их парирования часто отсутствуют, особое внимание при разработке 0D, 7D, 8D 9D уделяется поиску «лучших практик» (технологий) – РО ТИМ для ЗА. Они отбираются с учетом особых условий в техническом задании на проектирование, полученных на основе анализа ЗА, источников ее возникновения, сценариев развития и тяжести последствий. Такие «лучшие практики» (технологии) включают управление авариями, осуществление на объекте ОПК и КИ и окружающей территории мероприятий для



глубокоэшелонированной защиты объекта ОПК и КИ, персонала и населения. В случае если устройство и место нахождения объекта ОПК и КИ не исключают возможность ЗА, то независимо от ее вероятности разрабатываются меры по ее управлению. Исходя из определения запроектной аварии, «любое исходное событие, приводящее к проектной аварии, становится исходным и для запроектной, если оно сопровождается дополнительными отказами систем безопасности или ошибками персонала и сил безопасности объекта ОПК и КИ.

Концепция управления ЗА впервые сформировалась в качестве дополнительного, четвертого, уровня глубокоэшелонированной защиты после чернобыльской аварии. В условиях СВО ЗА вызываются АНВ, в том числе терактами и диверсиями, реализуемыми по «нестандартным» сценариям, не включенным в перечень потенциальных угроз совершения АНВ. Последствия таких аварий значительно тяжелее последствий проектных аварий и, хотя вероятность ЗА весьма мала, атака на Крымский мост 8 октября 2022 г. показала, что их необходимо учитывать для всех объектов ОПК и КИ. Раньше ЗА считались гипотетическими и не рассматривались в проектах, но современная концепция безопасности требует их учета и ограничения последствий с помощью мер управления. Эти меры направлены на предотвращение перехода проектных аварий в запроектные и на ослабление, локализацию и ликвидацию их последствий в условиях военных, террористических и диверсионных рисков, природных и техногенных воздействий на объект ОПК и КИ и системы его безопасности, нештатной работы систем безопасности, ошибок персонала и сил безопасности объекта ОПК и КИ.

Управление ЗА должно четко подразделяться между: 0D – РО ТИМ проектных решений инженерно-технической укрепленности, систем и мероприятий антитеррористической защиты на подготовительном этапе; 7D – РО ТИМ проектных решений инженерно-технической укрепленности объекта ОПК и КИ; 8D – РО ТИМ систем антитеррористической защищенности объекта ОПК и КИ и 9D – РО ТИМ сценариев (мероприятий) антитеррористической защиты объекта ОПК и КИ.

Для реализации могут использоваться технические средства, обеспечивающие безопасность при проектных авариях или предназначенные для уменьшения последствий ЗА. Действия и технические средства, описываемые в 0D, 7D, 8D и 9D, образуют четвертый уровень глубокоэшелонированной защиты объекта ОПК и КИ. Они разрабатываются для реализации постановления Правительства РФ от 1 марта 2024 г. № 258 «Об утверждении требований к антитеррористической защищенности

объектов (территорий) промышленности, находящихся в ведении или относящихся к сфере деятельности Министерства промышленности и торговли РФ, и формы паспорта безопасности этих объектов (территорий)».

При разработке 0D, 7D, 8D и 9D необходимо учитывать, что основой оценки уязвимости объекта ОПК и КИ является вероятностный анализ безопасности. Это касается и сценариев АНВ, терактов и диверсий, приводящих к тяжелым повреждениям объекта ОПК и КИ, рассматриваемых как ЗА. Вероятностный анализ безопасности применяется для оценки эффективности критериев и мер по управлению ЗА и позволяет выявить уязвимые места объекта ОПК и КИ (элементы и системы безопасности, процедуры деятельности персонала и сил безопасности), которые являются вероятными причинами аварии объекта ОПК и КИ в больших масштабах, чем при проектных авариях. Перечни ЗА, на основе анализа которых разрабатываются меры по управлению такими авариями, не могут разрабатываться только на основе вероятностных оценок значений критериев. Это не исключает, что набор критериев должен также учитывать необходимость такого управления ЗА, когда все идентифицируемые и рассматриваемые события не являются вероятностными, то есть их наступление целиком и полностью определяются известным и детерминированным спектром причин во внутренней среде и внешнем окружении функционирования объекта ОПК и КИ.

Концепция безопасности объекта ОПК и КИ базируется на приведенном методологическом подходе, а вероятностный анализ является его дополнением. Анализ безопасности объекта ОПК и КИ проводится на основе определения для каждого отказа порядка развития проектных аварий и их последствий. Для ЗА такой подход не может быть применен, так как ЗА возникают при непроектных исходных событиях или при дополнительных отказах систем безопасности сверх единичного отказа или ошибочных действиях персонала и сил безопасности. Из-за этого количество возможных сценариев ЗА неограничено, и для их сокращения целесообразно использовать симптомно ориентированный подход, а не событийно ориентированный, применяемый для проектных аварий. Для учета комплекса ЗА симптомы или признаки аварийного состояния объекта ОПК и КИ сравниваются с последствиями, превышающими принятые для проектных аварий, и с промежуточными состояниями, приводящими при их развитии к аварийным состояниям.

Аварийные состояния, то есть степень повреждения элементов объекта ОПК и КИ, его инженер-



ной укрепленности и систем безопасности характеризуются уровнями тяжести. Они не связываются со строго определенными сценариями АНВ, терактами и диверсиями, так как одни и те же аварийные состояния являются результатами воздействий по различным сценариям (или их совокупности, приводящей к последовательному или синхронному возникновению нескольких ситуаций в период времени меньше необходимого расчетного времени реакций). Переход от аварийных сценариев к аварийным состояниям сужает спектр анализируемых ЗА при условии ограничения количества состояний повреждения элементов объекта ОПК и КИ, его инженерно-технической укрепленности. Комплекс аварийных состояний по нарастанию уровней тяжести охватывает весь диапазон нарушений и их сочетаний как для элементов объекта ОПК и КИ и систем его безопасности, так и для деятельности персонала и сил безопасности. Если аварийные состояния не удастся выделить как самостоятельные, то они включаются в состав других состояний. Самостоятельные аварийные состояния объекта ОПК и КИ связываются с критическими функциями безопасности, прекращающими развитие аварийного процесса или предотвращающими переход аварийного состояния в состояние с большим уровнем тяжести. Анализ связи ЗА и соответствующих им аварийных состояний проводится по аналогии с анализом проектных аварий.

Наиболее сложной является проблема оптимального распределения решений по защите объекта ОПК и КИ от угроз террористического характера между 0D, 7D, 8D и 9D. Это связано с постоянным изменением рисков и угроз, а также инновационной деятельностью. Содержание 0D, 7D, 8D и 9D имеет различное наполнение и диктуется видом объекта ОПК и КИ, условиями его размещения и эксплуатации. Разработка ИМ 0D, 7D, 8D и 9D на всех этапах жизненного цикла объекта ведется в тесном контакте специалистов в сфере безопасности со специалистами в области риска. Обязанность обеспечения мер защиты, в том числе финансирование этих мер (с учетом возможной финансовой компенсации дополнительных издержек со стороны заинтересованных ведомств в установленном порядке), лежит на балансодержателе объекта, при отсутствии ресурсов для обеспечения таких мер – на руководителе хозяйствующего субъекта.

На первом этапе проводится анализ АНВ, теракта и диверсии с высокими уровнями тяжести последствий, рассматриваемых как ЗА и вызванных одним из трех условий или их комбинацией:

- не учитываемыми для проектных аварий исходными событиями;

- отказами систем безопасности;
- реализацией ошибочных решений персонала и сил безопасности.

Вначале анализируются типовые сценарии проведения АНВ, теракта и диверсии на объекте ОПК и КИ и соответствующие им в оценке уязвимости аварийные сценарии. Затем в обратном порядке с использованием дискретно-событийного моделирования производится анализ от комплекса связанных с ними аварийных состояний к не учитываемым для проектных аварий (в результате типового АНВ, теракта или диверсии) исходным событиям, отказам систем безопасности, ошибкам персонала и сил безопасности. Это позволяет сформировать узкий перечень ЗА и соответствующих им нарушений, приводящих к авариям с высокими уровнями тяжести. Для этого перечня ЗА разрабатывается комплекс мер по управлению аварией. Отличие перечня ЗА объекта ОПК в том, что перечень проектных аварий должен определяться еще на стадии разработки технических заданий на проектирование или реконструкцию объекта ОПК и КИ.

При разработке 0D, 7D, 8D и 9D должны использоваться руководства по управлению ЗА объекта ОПК и КИ, разработанные на основании анализа сценариев, приводящих к аварийным состояниям и ЗА. Эти руководства обеспечивают эффективные действия персонала и сил безопасности объекта ОПК и КИ, определение ими приоритетов действий для каждого уровня тяжести, активизацию функций безопасности в процессе ЗА. Анализ перечней аварийных состояний и сценариев позволяет определить эффективность выполнения критических функций безопасности и последствия их невыполнения, временные и параметрические характеристики. Они определяют возможность перехода аварийных состояний к ЗА при определенных начальных условиях (разработка перечня ЗА и их анализ играет вспомогательную роль).

Таким образом решение проблемы ЗА на объекте ОПК с использованием РО ТИМ базируется на сочетании вероятностного подхода и условия, согласно которому процессы в объекте ОПК и КИ неслучайны и вызываются конкретными причинами. Это соответствует требованиям к обеспечению безопасности объекта ОПК и КИ в условиях СВО при военных, террористических и диверсионных рисках. РО ТИМ позволяет на ИМ воспроизвести ЗА на основе анализа существенных взаимосвязей между элементами объекта ОПК и КИ с использованием имитационного моделирования, исследовать его поведение на всех этапах жизненного цикла, получая статистику без экспериментов на реальном объекте и позволяя увеличить результативность процессов реализации требований по



комплексной безопасности объектов, а также их унификации. В этом случае целями проведения исследований являются разработка концепции аппаратно-программного комплекса (АПК) и интегрированной интеллектуальной информационно-аналитической системы для поддержки принятия решений мониторинга объекта ОПК в штатных условиях, а также при АНВ, терактах, диверсиях.

Задачи снижения рисков и смягчения последствий АНВ, терактов, диверсий и других возможных ЧС включают:

- совершенствование системы управления;
- создание типовых центров управления;
- интеграцию систем предупреждения, реагирования и ликвидации.

Эта работа проводится с учетом повышения стойкости объекта ОПК и КИ и применением методов управления ЗА.

Таким образом проводится анализ основных процессов организации функционирования объекта ОПК и КИ, их оцифровка и внедрение инноваций – сквозных технологий и лучших практик. Существующий подход к обеспечению безопасности объекта ОПК и КИ, основанный на управлении рисками (минимизации рисков путем снижения вероятности (частоты) и последствий АНВ, терактов, диверсий и ЧС), обеспечивает приемлемый уровень рисков по отдельным видам угроз (но не для множественных угроз), однако уже близок к исчерпанию своих возможностей и требует модернизации с переходом к стойкости. При управлении рисками основной упор делается на предупреждение и предотвращение опасностей/угроз и смягчение, снижение тяжести последствий. Несмотря на то что любые виды АНВ, терактов, диверсий и ЧС связаны с несколькими угрозами или опасностями, действующими одновременно или последовательно, противодействие каждой из них проводится силами отдельных ведомств. Ликвидация последствий крупномасштабных АНВ, терактов, диверсий и ЧС показала снижение безвозвратных потерь и скорость восстановления только при создании межведомственных систем безопасности.

Отличительной особенностью объекта ОПК и КИ являются его уязвимости ко множественным угрозам и его адаптивные возможности, а для совместно используемого осознания ситуации осуществляется переход от изолированных подсистем объекта ОПК и КИ с фрагментарным отражением ситуации к «системе систем» с межведомственным пониманием. В настоящее время применительно к объектам ОПК и КИ необходим переход от риск-информационной, целеориентированной парадигмы безопасности с риском как основным ее показателем к парадигме безопасности на основе

показателей стойкости, в том числе учитывающей когнитивные аспекты проблемы. Последнее связано с изменением в новых условиях психологии людей вообще и нарушителей в частности и возникновением интеллектуального терроризма.

Предлагаемая система безопасности реализует методические подходы постановления Правительства РФ от 1 марта 2024 г. № 258 «Об утверждении требований к антитеррористической защищенности объектов (территорий) промышленности, находящихся в ведении или относящихся к сфере деятельности Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, и формы паспорта безопасности этих объектов (территорий)». Это касается оценки уязвимости и разработки планов обеспечения безопасности объектов ОПК и КИ, оценки вероятностей реализации угроз различной природы, выработки рекомендаций по их предупреждению и ликвидации последствий на основании управления рисками и стойкостью.

Для минимизации рисков и их устранения применяется комплекс мероприятий, основанный на прогнозах поведения элементов объектов ОПК и КИ, разработанных на базе искусственного интеллекта, интеллектуального анализа данных, машинного обучения, моделирования и статистики.

Стойкость является недооцененным ресурсом, поэтому для комплексного обеспечения безопасности объектов ОПК и КИ как систем высокой ответственности разработка парадигмы «управление стойкостью» нужна не для замены, а для дополнения и расширения существующего подхода «управление рисками» с учетом представленной трактовки уязвимостей при риске АНВ и необходимости адаптации механизма управления гибкостью и восстановлением проектного (штатного) режима функционирования опасного производства. В основу концепции информационно-аналитической системы для принятия решений для объектов ОПК и КИ положена интеграция методов ситуационной осведомленности, неогеографии, виртуального окружения, предсказательного моделирования, ГРИД<sup>12</sup>, семантической паутины, когнитивных технологий. Таким образом, на фоне проведения цифровой трансформации стойкость является эффективным инструментом для формирования в объекте ОПК и КИ «единого безопасного технологического цифрового контура». Он предназначен для решения системных проблем при их развитии (восстановлении), должен стать инфраструктурной системой инноваций с соблюдением требований безопасности и защиты от угроз террористического и диверсионного характера. Единый безопасный технологический цифровой контур объекта ОПК и КИ позволяет повысить эффективность управ-

ления обследованием территорий под развитие (восстановление) объекта ОПК и КИ, проектированием, строительством и эксплуатацией. Единый цифровой контур, поддерживающий безопасность на нормативно заданном уровне, повышает эффективность объектов ОПК и КИ, ускоряет сроки их развития (восстановления), улучшает качество и культуру их безопасности [12–14].

Обеспечение безопасности объектов ОПК и КИ, оценка особенностей их подсистем, оценка вероятностей реализации угроз различной природы, выработка рекомендаций по их предупреждению и ликвидации последствий на основании управления рисками и стойкостью требуют оценки различных вариантов развития ситуаций. Первоначальные планы по мере проведения операции по активному противодействию угрозам подвергаются корректировке. Данные обстановки, полученные из различных источников, передаются в ситуационный центр объекта ОПК и КИ, анализируются для принятия решения, уточняющего или меняющего задачи по устранению последствий деструктивного воздействия. Усиление защиты объекта ОПК и КИ обеспечивается передачей этих решений силам безопасности объекта, МЧС, ФСБ, МВД для создания временных рубежей охраны и масштабирования существующих. План таких действий должен быть разработан заранее (при этом необходимо иметь также регламент его постоянной корректировки), так как динамичность изменений обстановки характерна для всех уровней иерархии ситуационного центра объекта ОПК и КИ.

Цель анализа безопасности в ситуационных центрах объектов ОПК и КИ – исследование негативных и позитивных тенденций и прогнозирование состояния безопасности при оценке его количественных критериев на различных территориальных и отраслевых участках анализируемой области, выявление ключевых направлений обеспечения безопасности для последующего принятия решений. Проводимый анализ включает:

- расчет комплекса статистических показателей, более содержательных и менее подверженных случайным колебаниям, чем количество нарушений;

- построение чрезвычайных последовательностей<sup>13</sup> (сценариев АНВ, терактов, диверсий и ЧП) от обнаружения признаков возможного действия фактора риска до возвращения к производственному состоянию или выбытию объекта с определением детектируемых промежуточных и конечных состояний и последствий для каждой из них;

- количественную оценку вероятности и риска чрезвычайных последовательностей (методом аналитико-статистического моделирования);

- проверку в базе знаний (при ее наличии) приемлемых аналогичных решений для подобных или близких ситуаций наступления рискованных событий.

Метод реализуется в ситуационных центрах с помощью системы, формирующей многопользовательскую интегрированную среду анализа и формирования руководства объектов ОПК и КИ и контрольно-надзорных органов о состоянии их безопасности. С целью повышения эффективности этой деятельности для целеполагания, мониторинга и проведения экспертизы научных исследований в интересах технологического развития, объективного оценивания уровня безопасности объектов ОПК и КИ в системе ФГБУ РАН формируются научные советы по приоритетным направлениям критических и сквозных технологий.

Интеграция методов ситуационной осведомленности, многомасштабного предсказательного моделирования, ГРИД, семантической паутины, интеллектуальных информационных технологий и хранилищ данных позволяет перейти на качественно более высокий уровень ситуационного анализа и поддержки принятия решений. Все это обеспечивает определение приоритетных стратегических направлений технологического развития объектов ОПК и КИ с использованием сквозных риск-ориентированных технологий с учетом ограничений и рисков, связанных с военными, террористическими и диверсионными действиями.

### Примечания

1. Акт незаконного вмешательства (АНВ) – противоправное действие (бездействие), в том числе террористический акт, угрожающее безопасной деятельности объекта инфраструктуры, повлекшее за собой причинение вреда жизни и здоровью людей, материальный ущерб либо создавшее угрозу наступления таких последствий.

2. Нарушение и искажение договоренностей (как официальных, так и неофициальных) со стороны «цивилизованных» стран уже давно воспринимается российской стороной как безусловное обстоятельство, ограничивающее срок действия механизма купирования тех или иных угроз: вовлеченность западных спецслужб в инициацию, организацию и координацию деятельности маргинальных представителей деструктивных внутренних и внешних сил (признаваемых экстремистскими или террористическими движениями и организациями), регулярно получает все новые и новые подтверждения.

3. В случае превышения уровня мобилизационных и резервных требований государства к объему запасов может потребоваться обоснование мер и механизма дополнительной бюджетной поддержки



для компенсации возможных финансовых потерь при ухудшении структуры оборотных активов и снижения его оборачиваемости на предприятиях ОПК с государственным участием в уставном/акционерном капитале.

4. Запроектная авария (ЗА) вызывается не учитываемыми для проектных аварий исходными событиями или дополнительными по сравнению с проектными авариями отказами систем безопасности сверх единичного отказа, реализацией ошибочных решений персонала. К ЗА относятся гипотетические аварии, характеризующиеся весьма малой вероятностью такого события, но значительными последствиями.

5. В соответствии с п. 4 ст. 42 Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»: «Национальный орган РФ по стандартизации... утверждает, публикует... перечень документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований настоящего Федерального закона».

6. Приказ Росстандарта от 2 апреля 2020 г. № 687 «Об утверждении перечня документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ „Технический регламент о безопасности зданий и сооружений“».

7. Функционал анализа прочностных характеристик конструкций в системах автоматизированного проектирования: традиционные средства построения цифровых образов зданий и сооружений (Building Information Modeling, BIM).

8. Функционал анализа прочностных характеристик изделий в системах автоматизированного проектирования (САПР): традиционные средства построения цифровых образов машин и механизмов (Computer-Aided Design, CAD).

9. Функционал компьютерного инструментария поддержки качественных и количественных методов идентификации и оценки рисков объективной и субъективной природы в автоматизированных системах управления рисками (Risk Control System): традиционные средства и интеллектуальные технологии описания рисков и процессов реализации рисков событий (Risk Management Automation, RMA).

10. Несанкционированные внешние и внутренние воздействия (единичные и каскадные, импульсные и длящиеся) приводят к наступлению рисков событий, создающих негативные эффекты и влияния. Степень разрушительности и необратимости существенно возрастает для факторов риска,

связанных с возможностью осуществления АНВ различного характера. При этом в силу целенаправленного выбора способа и характера воздействия особо высока вероятность выхода на запроектный режим работы технологического и инженерного оборудования, что приводит к режимам и последствиям отказа производственного оборудования (Failure Modes and Effects Analysis).

11. Безопасность объекта ОПК – это состояние защищенности объекта ОПК от различных угроз, при котором созданы условия для его нормального функционирования и строгого соблюдения на нем установленных режимов.

12. ГРИД-форма распределенных вычислений, в которой «виртуальный суперкомпьютер» представлен в виде кластеров, соединенных с помощью сети слабосвязанных компьютеров, работающих вместе для решения задач, требующих значительных вычислительных ресурсов.

13. Чрезвычайная (аварийная) последовательность – последовательность событий, в том числе событий ЗА, приводящая к определенному финальному состоянию объектов ОПК, включает инициирующее событие, события, связанные с успешным или неуспешным выполнением функций безопасности системами объектов ОПК и (или) персоналом.

## ИСТОЧНИКИ

1. Махутов Н.А., Балановский В.Л., Миронов А.В., Грунин И.Ю., Балановский Л.В., Чирков А.Г. Новые подходы к ведению проектной деятельности в условиях высокого уровня рисков и угроз // Системы безопасности. 2024. № 5(179).

2. Махутов Н.А., Кутузов А.П., Балановский В.Л., Ерофеев М.Н., Грунин И.Ю., Соколов А.С., Некрасов Д.А. Совершенствование технологий безопасности в условиях новых рисков и угроз // Качество и жизнь. 2024. № 1–2(41–42).

3. Ерофеев М.Н., Смирнов В.Г., Балановский Л.В., Балановский В.Л., Грунин И.Ю. Повышение безопасности объектов промышленности в современных условиях // Системы безопасности. 2024. № 6(180).

4. Писарева О.М. Прогнозно-аналитическая деятельность в управлении развитием многоуровневых организационных систем: Монография. М.: ГУУ, 2013.

5. Писарева О.М. Модель целеполагания в многоуровневом государственном стратегическом управлении социально-экономическим развитием // Экономическая наука современной России. 2021.

6. Бойцов Б.В., Балановский В.Л., Шепитько Т.В., Денисов В.В., Лысов Д.А. Инструменты внедрения инноваций в сфере безопасности транспортных комплексов // Качество и жизнь. 2018. № 4(20).

7. Бойцов Б.В., Балановский В.Л., Подъяконов В.М., Денисов В.В., Балановский Л.В. Будущее безопасности // Качество и жизнь. 2023. № 2(38).

8. Махутов Н.А., Балановский В.Л., Ерофеев М.Н., Павлюков М.Ю., Грунин И.Ю., Балановский Л.В. Инструменты и лучшие практики технологического развития для обеспечения безопасности и устойчивости // Системы безопасности. 2024. № 1(175).

9. Бойцов Б.В., Розенберг И.Н., Шепитько Т.В., Балановский В.Л., Денисов В.В., Подъяконов В.М. Технологии информационного моделирования проектных решений для обеспечения транспортной безопасности // Качество и жизнь. 2023. № 3(39).

10. Бойцов Б.В., Балановский В.Л., Куприков М.Ю., Рипецкий А.В., Николаева Н.В. Управление качеством проектирования и эксплуатации с использованием риск-ориентированного информационного моделирования // Качество и жизнь. 2022. № 3(35).

11. Бойцов Б.В., Балановский В.Л., Денисов В.В., Грунин И.Ю., Метлицкий В.С. Обеспечение инженерно-технической укрепленности объектов транспортной инфраструктуры РЖД // Качество и жизнь. 2024. № 1–2(41–42).

12. Балановский В.Л., Авдонов А.Ю., Балановский Л.В. Качество безопасности и защищенности объектов транспортной инфраструктуры // Каталог Системы безопасности. 2017. № 1(24).

13. Бойцов Б.В., Денисов В.В., Балановский В.Л., Подъяконов В.М., Балановский Л.В. Управление качеством обеспечения безопасности при проведении изысканий и проектировании железных дорог в турбулентных условиях // Качество и жизнь. 2023. № 3(39).

14. Бойцов Б.В., Шепитько Т.В., Грунин И.Ю., Балановский Л.В., Балановский В.Л., Денисов В.В., Николаева Н.В., Подъяконов В.М., Яманов К.Д. Научно-технологическое развитие и управление изменениями культуры безопасности // Качество и жизнь. 2021. № 4(32).

## References

1. Makhutov N.A., Balanovsky V.L., Mironov A.V., Grunin I.Yu., Balanovsky L.V., Chirkov A.G. New approaches to project activities in the context of high risks and threats // Security Systems. 2024. No. 5(179).
2. Makhutov N.A., Kutuzov A.P., Balanovsky V.L., Erofeev M.N., Grunin I.Yu., Sokolov A.S., Nekrasov D.A. Improving security technologies in the context of new risks and threats // Quality and Life. 2024. No. 1–2(41–42).
3. Erofeev M.N., Smirnov V.G., Balanovsky L.V., Balanovsky V.L., Grunin I.Yu. Improving the safety of industrial facilities in modern conditions // Security Systems. 2024. No. 6 (180).
4. Pisareva O. M. Forecasting and analytical activities in managing the development of multi-level organizational systems: Monograph. Moscow: GUU, 2013.
5. Pisareva O. M. Goal-setting model in multi-level state strategic management of socio-economic development // Economic science of modern Russia. 2021.
6. Boytsov B. V., Balanovsky V. L., Shepitko T. V., Denisov V. V., Lysov D. A. Tools for implementing innovations in the field of safety of transport complexes // Quality and Life. 2018. No. 4 (20).
7. Boytsov B. V., Balanovsky V. L., Podyakov V. M., Denisov V. V., Balanovsky L. V. The future of security // Quality and Life. 2023. No. 2(38).
8. Makhutov N.A., Balanovsky V.L., Erofeev M.N., Pavlyukov M.Yu., Grunin I.Yu., Balanovsky L.V. Tools and best practices of technological development to ensure security and sustainability // Security Systems. 2024. No. 1(175).
9. Boytsov B.V., Rosenberg I.N., Shepitko T.V., Balanovsky V.L., Denisov V.V., Podyakov V.M. Technologies of information modeling of design solutions to ensure transport security // Quality and Life. 2023. No. 3(39).
10. Boytsov B.V., Balanovsky V.L., Kuprikov M.Yu., Ripetsky A.V., Nikolaeva N.V. Design and Operation Quality Management Using Risk-Oriented Information Modeling // Quality and Life. 2022. No. 3(35).
11. Boytsov B.V., Balanovsky V.L., Denisov V.V., Grunin I.Yu., Metlitsky V.S. Ensuring Engineering and Technical Strengthening of Russian Railways Transport Infrastructure Facilities // Quality and Life. 2024. No. 1–2(41–42).
12. Balanovsky V.L., Avdonov A.Yu., Balanovsky L.V. Quality of Safety and Security of Transport Infrastructure Facilities // Catalog of Security Systems. 2017. No. 1(24).
13. Boytsov B.V., Denisov V.V., Balanovsky V.L., Podyakov V.M., Balanovsky L.V. Quality management of safety assurance during surveys and design of railways in turbulent conditions // Quality and Life. 2023. No. 3 (39).
14. Boytsov B.V., Shepitko T.V., Grunin I.Yu., Balanovsky L.V., Balanovsky V.L., Denisov V.V., Nikolaeva N.V., Podyakov V.M., Yamanov K.D. Scientific and technological development and management of changes in safety culture // Quality and Life. 2021. No. 4 (32).

# К вопросу зимней защиты стрелочных переводов на открытых участках Московского метрополитена

## Ю.Н. Харитонов,

канд. физ.-мат. наук, доцент,  
РУТ (МИИТ); Москва  
e-mail: haritonoy@mail.ru

## И.И. Крапивин,

канд. техн. наук, старший преподаватель,  
РУТ (МИИТ); Москва  
e-mail: crossx@bk.ru

## И.А. Белогорохов,

доктор физ.-мат. наук, профессор, РУТ  
(МИИТ); Москва  
e-mail: jugqwerty@mail.ru

**Аннотация.** Описание работы профильных нагревательных приборов модульного типа, применяемых на стрелочных переводах открытых участков Московского метрополитена. Показан теоретический расчет термодинамических характеристик используемых профильных нагревательных модулей, что открывает широкие возможности для улучшения имеющихся в распоряжении столичного транспорта устройств, обеспечивающих безопасность движения составов в зимний период и межсезонье. В ходе выполненных работ показана универсальность представленной системы – ее возможно подключить и адаптировать к любой энергосети и схеме движения составов, а взаимозаменяемость таких устройств обеспечивает быстрый и качественный ремонт. При описании работы нагревательных элементов отдельное внимание уделено схеме подключения линии обогрева к энергосети Московского метрополитена. Показано преимущество стандартного метода обеспечения безопасности движения поездов в холодном климате по сравнению с инновационными методами, основанными на применении нагрева определенных участков рельса с помощью ИК-излучения.

**Ключевые слова:** Московский метрополитен, нагревательный модуль, безопасность, мощность, теплоотдача, инверсивный нагрев, взаимозаменяемость.

**Summary.** Description of the operation of specialized heating devices of modular type used on turnouts of the Moscow Metro. The theoretical calculation of the thermodynamic characteristics of the used profile heating modules is shown, which opens up wide opportunities for improving the devices at the disposal of the capital's transport that ensure the safety of train traffic in winter and off-season. In the course of the work performed, the versatility of the presented system was shown – it can be connected and adapted to any power grid and train traffic scheme. And the interchangeability of such devices ensures fast and high-quality repairs. When describing the operation of heating elements, special attention is paid to the scheme of connecting the heating line to the power grid of the Moscow metro. The advantage of the standard method of ensuring the safety of train traffic in a cold climate is shown in comparison with innovative methods based on the use of heating of the

**Keywords:** Moscow Metro, heating module, safety, power, heat dissipation, inverse heating, interchangeability

## Введение

Безопасность движения поездов всегда являлась одной из приоритетных задач российского транспорта [1–4]. Движение поездов в зимний период или в регионах с резкими перепадами температур должно проходить без сбоев и долгосрочных задержек, связанных с ремонтом или иными работами путейцев. Образование льда на рельсах может стать причиной нарушений в графике работы железнодорожного транспорта, а в самом худшем случае – причиной аварийной ситуации. Наибольшему риску сбоя из-за образования льда подвергаются стрелочные переводы. Конструкция перевода насчитывает большое количество подвижных и механических компонент: тяги, остряки, корневые стыки, контррельс, сердечники и усовики – все эти



детали должны вовремя очищаться от снега или льда, а также переносить дожди. По оценочным данным, на Восточно-Сибирской железной дороге именно отказ переключения стрелки из-за скопления снега зимой стал основной причиной сбоев в графике движения поездов. Поэтому обеспечение надежной работы стрелочных переводов в зимний период или в регионах с холодным климатом является большой проблемой для отечественных железных дорог и требует актуальных подходов и решений [5–8].

Существующая система очистки стрелочных переводов сжатым воздухом требует присутствия обходчика. В случае газообогрева стрелочных переводов применяются факельно-камерные обогреватели и беспламенные горелки инфракрасного излучения (ИК-излучения). Типовой факельно-камерный обогреватель состоит из обогревательной камеры и инжекционной горелки. Тем самым газозоооужная смесь, которая выходит из смесителя инжекционной горелки, отводится в камеру сгорания и горит, обеспечивая равномерный нагрев ее поверхности до 300°C. Сам нагрев элементов железнодорожных путей происходит за счет теплопроводности экрана, теплового излучения боковых поверхностей и теплоты продуктов сгорания. Указанный метод нашел применение в местах железных дорог, где не требуется острый контроль за пожароопасностью. У газообогрева также имеется ряд недостатков, к которым можно отнести низкую стойкость элементов конструкции к динамическим нагрузкам, недостаточный нагрев элементов стрелочного перевода в условиях сильных морозов, а также тепловые потери на нагрев окружающего воздуха. В большинстве случаев на российских железных дорогах обогрев стрелочных переводов и примыкающих к ним участков путей осуществля-



ется с помощью и посредством трубчатых электронагревателей (ТЭНов) разной мощности. Конструкция ТЭНов и схемы подключения к рельсам за время их эксплуатации претерпели большое количество доработок и модификаций. Доступность и мощность энергосетей, а также природные осо-

бенности местности стали основными факторами, на основании которых производилась доработка конструкции ТЭНов на определенных участках железных дорог.

В настоящей статье рассматривается описание профильного нагревательного модуля стрелочного перевода, который применялся на линиях Московского метрополитена на станциях «Багратионовская», «Кунцевская», «Пионерская», «Выхино» (до их реконструкции), «Бунинская аллея», «Бульвар Ушакова» 1. Приводится теоретическое описание работы электрического обогревателя, а также описывается схема его подключения к рельсам и энергосети столичного метрополитена.

### Результаты и обсуждение

Применение электрообогрева стрелочных переводов с помощью нагревательного кабеля позволяет сделать надежной их работу в любое время суток в условиях продолжительного зимнего периода. Стрелочный перевод может быть оборудован модулями нескольких типов, представляющих собой планшеты из дуралюминия с вложенным в них электронагревательным элементом. На рис. 1 показан общий вид стрелочного перевода, оборудованного профильными нагревательными модулями, реализуемыми на открытом участке пути Московского метрополитена.

Для выработки оптимальных условий применения профильного нагревательного модуля (ПНМ) рассмотрим термодинамику его нагрева.

Пусть нагреваемая поверхность плоской стенки модуля охлаждается средой с температурой  $T_c$ , а коэффициент теплоотдачи от стенки к среде не меняется по всей поверхности и равен  $\alpha$ . К внутренней стороне стенки модуля каждым витком кабеля подводится тепловой поток, обуславливающий ее локальный нагрев. Считая, что распределение удельного теплового потока по поверхности стенки модуля подчиняется закону [9]. Пусть нагреваемая

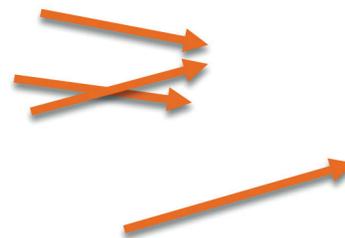


Рисунок 1. Стрелками показаны профильные нагревательные модули, установленные на шейке рамного рельса



поверхность плоской стенки модуля охлаждается средой с температурой  $T_c$ , а коэффициент теплоотдачи от стенки к среде не меняется по всей поверхности и равен  $\alpha$ . К внутренней стороне стенки модуля каждым витком кабеля подводится тепловой поток, обуславливающий ее локальный нагрев. Считая, что распределение удельного теплового потока по поверхности стенки модуля подчиняется закону [10]:

$$Q(r) = Q_0 \exp(-k^2 r^2). \quad (1)$$

где  $r$  – радиус, отсчитываемый от центральной точки, в которой удельный поток максимален и равен  $dQ$ ;  $k$  – коэффициент, характеризующий степень концентрации теплового потока, зависит от геометрии укладки кабеля по поверхности стенки.

Зависимость температуры  $T_0$  на внешней поверхности стенки модуля от толщины стенки и условий теплообмена описывается дифференциальным уравнением:

$$\frac{d^2 T}{dZ^2} + \frac{d^2 T}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dT}{dr} = 0 \quad (2)$$

с граничными условиями: при

$$Z = 0 \quad -\lambda \frac{\partial T}{\partial Z} = Q(r), \quad (3)$$

$$\text{при } Z = 0 \quad -\lambda \frac{\partial T}{\partial Z} = \alpha (T_c - T), \quad (4)$$

$$\text{при } Z = 0 \quad \delta r \rightarrow \infty \quad \frac{\partial T}{\partial r} = 0, \quad (5)$$

где  $Z$  – нормальная к поверхности стенки ось координат с началом отсчета на нагреваемой стороне;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала стенки;  $T = T(r, z)$ . Расчетная схема с локальным подводом тепла представлена на рис. 2.

Разделяя переменные уравнения (2), представим его решение в виде

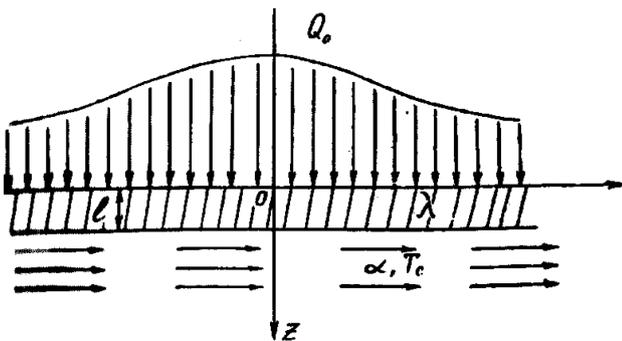


Рисунок 2. Расчетная схема с локальным подводом тепла

$$T - T_c = (C_1 \text{ch}mz + C_2 \text{sh}mz) [D_1 J_0(mz) + D_2 J_{0dmz}]$$

Из соотношения (5) следует, что  $D_2 = 0$ , а из (4)

$$-C_2 = C_1 \frac{m \text{sh}ml + \left(\frac{\alpha}{\lambda}\right) \text{ch}ml}{m \text{sh}ml + \left(\frac{\alpha}{\lambda}\right) \text{sh}ml}$$

Область решения задачи в направлении радиуса  $r$  является полуограниченной  $0 \leq r \leq \infty$ , поэтому произвольная величина  $m$  изменяется непрерывно в пределах  $0 \leq m \leq \infty$ . В итоге получается:

$$T - T_c = \int_0^\infty A(m) J_0(mr) \frac{m \text{ch}m(l-z) + \left(\frac{\alpha}{\lambda}\right) \text{sh}m(l-z)}{m \text{ch}ml + \left(\frac{\alpha}{\lambda}\right) \text{sh}ml} dm \quad (6)$$

где  $A(m) = C_1 D_1$ , не зависящая от координат величина, являющаяся функцией ( $m$ ).

Она определяется из граничного условия (4), которое после подстановки в него формулы (6) принимает вид:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=0} = \lambda \int_0^\infty A(m) J_0(mr) \frac{m \text{sh}ml + \frac{\alpha}{\lambda} \text{ch}ml}{m \text{ch}ml + \frac{\alpha}{\lambda} \text{sh}ml} m dm = Q(r), \quad (7)$$

Из сопоставления этого выражения с интегралом Фурье – Бесселя [2]

$$Q(r) = \int_0^\infty J_0(mr) J_0(mr) m dm \int_0^\infty Q(r) J_0(mr) r \frac{C}{r} dr \quad (8)$$

который дает разложение зависимости по функциям Бесселя [11], получаем:

$$A_m = \frac{m \text{ch}ml + \frac{\alpha}{\lambda} \text{sh}ml}{m \text{sh}ml + \frac{\alpha}{\lambda} \text{ch}ml} \int_0^\infty \frac{Q(r)}{\lambda} J_0(mr) r dr \quad (9)$$

После подстановки этого соотношения в (6) решение примет вид:

$$T - T_0 = \int_0^\infty J_0(mr) \frac{m \text{ch}(l-z) + \frac{\alpha}{\lambda} \text{sh}m(l-z)}{m \text{sh}ml + \frac{\alpha}{\lambda} \text{ch}ml} dm \int_0^\infty \frac{Q(r)}{\lambda} J_0(r) r dr \quad (10)$$

В случае осесимметричного распределения плотности теплового потока (1) по поверхности стенки модуля внутренний интеграл в решении (10) равняется [12]:

$$\int_0^\infty \frac{Q}{\lambda} J_0(mr) \exp(-k^2 r^2) r dr = \frac{Q_0}{2k^2} \exp\left(-\frac{m^2}{4k^2}\right) \quad (11)$$

Из решения уравнения (10) получаем:

$$T - T_0 = \frac{Q_0}{2\lambda k^2} \int_0^\infty J_0(mr) \frac{m \text{ch}m(l-z) + \frac{\alpha}{\lambda} \text{sh}m(l-z)}{m \text{ch}ml + \frac{\alpha}{\lambda} \text{ch}ml} \exp\left(-\frac{m^2}{4k^2}\right) dm \quad (12)$$

Температура  $T_0$  центральной точки  $r = z = 0$  на нагреваемой поверхности:

$$T - T_0 = \frac{Q_0}{2\lambda k^2} \int_0^\infty J_0(mr) \frac{mchm(l-z) + \frac{\alpha}{\lambda} shm(l-z)}{mshml + \frac{\alpha}{\lambda} chml} \exp\left(-\frac{m^2}{4k^2}\right) dm. \quad (13)$$

Оптимизируя выражение для температуры T:

$$\frac{\partial T}{\partial l} = \frac{Q_0}{2\lambda k^2} \int_0^\infty \frac{\left(\frac{\alpha}{\lambda}\right)^2 - m^2}{mchml + \frac{\alpha}{\lambda} shml} \exp\left(-\frac{m^2}{4k^2}\right) dm = 0 \quad (14)$$

Ограничиваясь малой толщиной стенки

$$\frac{\partial T}{\partial l} = \frac{Q_0}{2l} \left[ 1 - \frac{4k^2}{(\alpha/\lambda)^2} \right] \quad (15)$$

и приравнявая нулю, получаем, что это условие выполняется при

$$\frac{\alpha}{\lambda k} < 2. \quad (16)$$

Таким образом, из формулы (13) определяем температуру  $T_0$  в наиболее нагретой точке стенки модуля при данных условиях охлаждения внешней средой с температурой  $T_C$  и коэффициентом теплоотдачи  $\alpha$ .

$$T_0 = T + \frac{Q_0}{\alpha}. \quad (17)$$

Коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  рассчитывается для турбулентного обтекания воздухом со скоростью  $v = 6$  м/с плоской поверхности электронагревательного модуля. Подводимый к поверхности модуля удельный тепловой поток  $Q_0$  рассчитывается по потребляемой мощности с учетом тепловых потерь.

Профильные нагревательные модули (рис. 3) прикреплены специальным замком к рамному рельсу (рис. 4).

Направленность теплового потока в основном достигнута путем введения в конструкцию ПНМ пассивных отражателей теплового излучения и

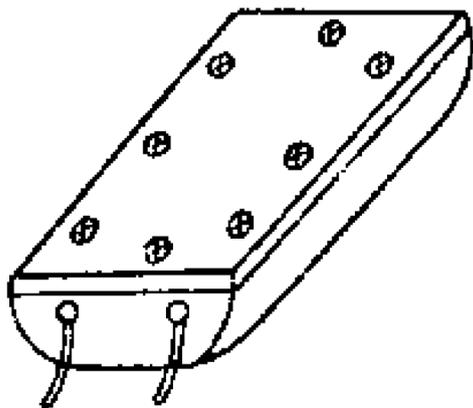


Рисунок 3. Профиль нагревательного модуля повторяет форму шейки рамного рельса

придания тепловыделяющей поверхности ПНМ, совпадающей с конфигурацией боковой поверхности шейки рамного рельса.

Материал корпуса модуля – дюралюминиевый сплав, что обеспечивает высокую теплоотдачу и инверсивный нагрев, необходимый для эффективной работы системы. Длина модуля – 30 см, расстояние между модулями – 20 см, мощность одного модуля – 0,15 кВт. Общая потребляемая мощность на стрелочный перевод – 3 кВт. Это позволяет обеспечить эффективную работу системы до температуры  $-20^\circ\text{C}$ . Модули подключены параллельно, что позволяет системе работать при выходе из строя одного или нескольких модулей.

В результате суперпозиции экспоненциальных тепловых полей каждого ПНМ температура на поверхности рамных рельсов в каждой точке стрелочного перевода практически равна  $T_0$ .

На рис. 5 приведен график распределения температуры вдоль рельса, обогреваемого десятью модулями. Исследования проводились при температуре  $-5^\circ\text{C}$  и ветре 5–7 м/с на рельсе Р-50. Для наибольшей достоверности вычислений допускаем неисправность модуля 7 – он выведен из строя. На графике видно, что даже на этом участке около модуля 7 температура рельса около  $+5^\circ\text{C}$ . Это показывает, что при выходе из строя одного модуля система в целом продолжает эффективно работать. Альтернативная система, иногда применяющаяся в метрополитене, – немецкие 3-метровые модули.

На рис. 5 приведены для сравнения графики распределения тепла при модульной системе и 3-метровых тэнах. Видно, что последние менее эффективны и не обогревают корень стрелки. При выходе из строя немецкого 3-метрового ТЭНа обогрев стрелки прекращается и для восстановления работоспособности требуется полная замена тэна.

Материал корпуса ПНМ – дюралюминиевый сплав, что обеспечивает высокую теплоотдачу и инверсивный нагрев, необходимый для эффективной работы системы. Длина модуля – 30 см, расстояние между модулями – 20 см, мощность одного модуля – 0,15 кВт. Общая потребляемая мощность на стрелочный перевод – 3 кВт. Это позволяет обеспечить эффективную работу системы до температуры  $-20^\circ\text{C}$ . Модули подключены параллельно, что позволяет системе работать при выходе из строя одного или нескольких модулей.

Автоматизированная система управления электрообогревом состоит из шкафа управления электрообогревом стрелки (ШУЭС) и профильных нагревательных модулей (ПНМ). Шкафы управления электрообогревом стрелки (ШУЭС) постоянно дорабатываются и модернизируются. На рис. 6 показан общий вид шкафа управления.

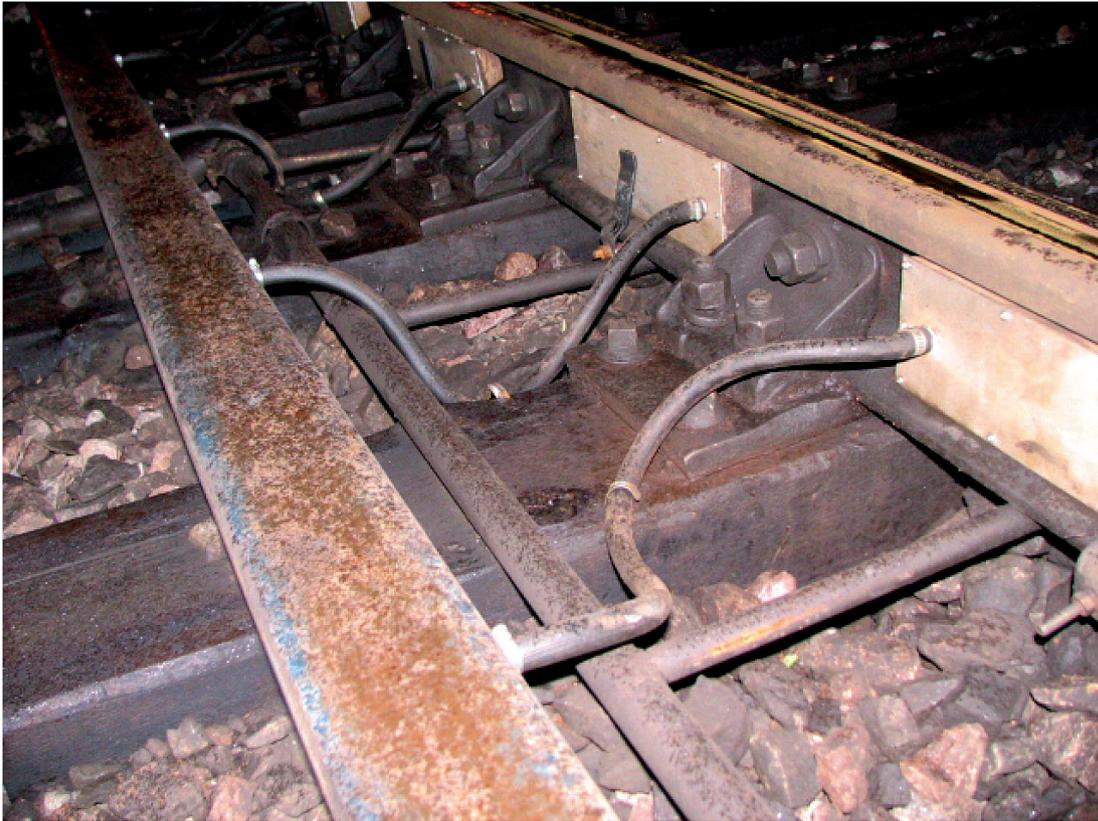


Рисунок 4. Фотография подключения профильного нагревательного модуля к рельсу

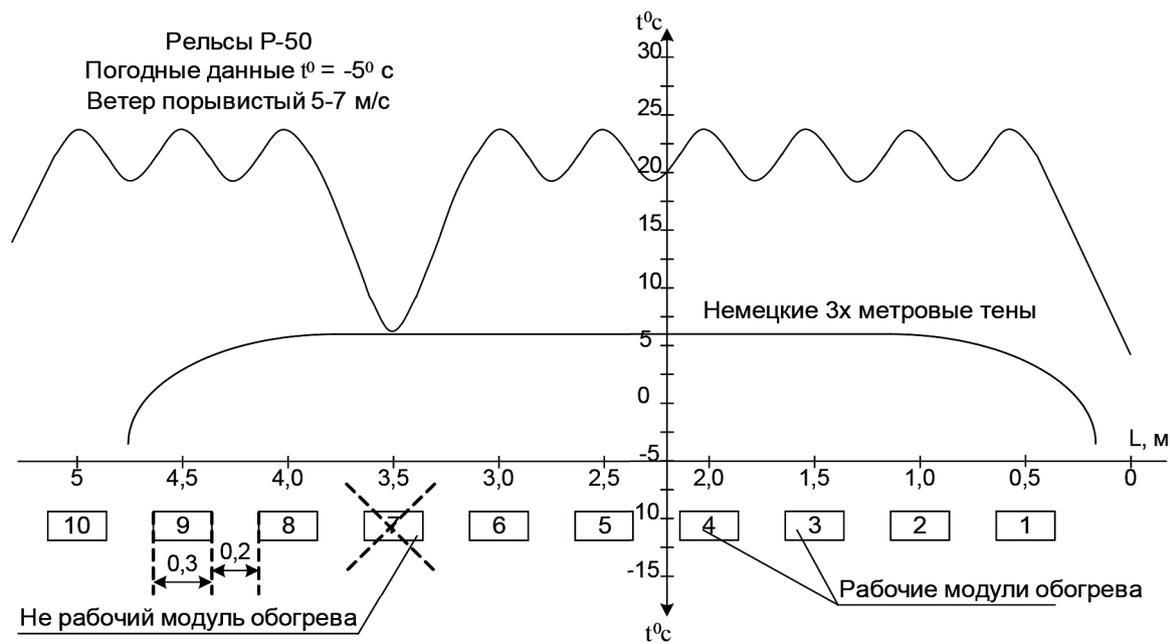


Рисунок 5. График распределения температуры вдоль рельса, нагреваемого модулями. Модуль 7 выведен из строя

К шкафу подводится 3-фазное питание, напряжение одной фазы – 220 В и нулевой провод. Сам шкаф заземляется. Три фазы подаются на 3-фазный пакетный автомат, который срабатывает в случае КЗ системы и прекращает подачу питания с него через УЗО (устройство защитного отключения),

необходимое для защиты от больших утечек тока и защиты обслуживающего персонала. Магнитный пускатель, позволяющий уменьшать пусковой ток системы питания, подается на автоматы включения модулей. Каждый модуль подключен через отдельный автомат на 6 кВт, что позволяет отключать



Рисунок 6. Общий вид шкафа управления электрообогревом стрелки (ШУЭС)

один модуль в случае его неисправности, при этом система продолжает работать. Об исправной работе каждого модуля сигнализирует светодиод на блоке световой индикации, включенный во вторичную обмотку трансформатора тока. Для регулировки температуры рельса и экономии электроэнергии в системе предусмотрено автоматическое отключение обогрева при нагреве рельса выше установленной температуры ( $\max 30^{\circ}\text{C}$ ) и автоматического включения при падении температуры ниже  $\min$  предела. Разброс верхней и нижней границы регулируется  $\max 3^{\circ}\text{C}$ . Эти функции выполняет терморегулятор в паре с термодатчиком, который прикрепляется к рельсу и измеряет его температуру. Терморегулятор либо включает, либо отключает модули обогрева. В системе предусмотрено два комплекта термодатчик – терморегулятор: первый – для обогрева стрелочного перевода, второй – для обогрева шкафа. Для учета потребляемой мощности в ЩУЭС устанавливают 3-фазный счетчик.

В более поздних версиях дополнительно устанавливалась розетка 220 В для подключения приборов, применяемых для обслуживания (лампы освещения, паяльник, дрель и т.д.).

Основные преимущества данной системы: универсальность – при выходе из строя одного или нескольких ПНМ система остается в работоспособном состоянии; гибкость системы – модульное строение, которое позволяет устанавливать обогрев под разные типы рельс, практически меняя лишь профиль составных компонентов; возможность регулировки температуры нагрева рельса. Диапазон – от  $+5^{\circ}\text{C}$  до  $+30^{\circ}\text{C}$ . При нагреве рельса выше установленной температуры система автоматически выключается; при остывании рельса ниже установленной температуры обогрев автоматически включается; малое энергопотребление (3 кВт); практически не оказывает помех работе систем СЦБ (АРУ, АЛСН и т.д.).

Подводя промежуточный итог, можно сказать следующее: автоматизированная система электро-

обогрева стрелочных переводов на стрелках электромагнитно совместима с устройствами СЦБ. Сравнение с минимально допустимым напряжением на выходе рельсовой цепи любой нормы ( $U_{\min} = 0,24$  В) показывало, что возникающие при этом помехи на два порядка меньше и, следовательно, они не могут оказывать мешающего влияния на работу систем сигнализации и автоблокировки. Такой же уровень помех (не превышающий 0,7 мВ) сохраняется для всех гармонических составляющих выпрямленного тока, частоты которых для рельсовых цепей – 50 Гц, 425 Гц, 475 Гц, 575 Гц, 725 Гц и 775 Гц.

Система успешно функционировала на открытых участках станций Московского метрополитена («Багратионовская», «Кунцевская», «Пионерская», «Выхино» (до их реконструкции), «Бунинская аллея», «Бульвар Ушакова»). В настоящее время система успешно продолжает функционировать на открытых участках станций «Бунинская аллея» и «Бульвар Ушакова» Московского метрополитена.

### Заключение

В представленной статье изложено описание профильных нагревательных модулей, примененных на открытых участках линий Московского метрополитена. Показан теоретический расчет термодинамических характеристик используемых нагревательных модулей, что открывает широкие возможности для улучшения имеющихся в распоряжении столичного транспорта устройств, обеспечивающих безопасность движения составов в зимний период и межсезонье. В ходе выполненных работ показана универсальность представленной системы – ее возможно подключить и адаптировать к любой энергосети и схеме движения составов, а взаимозаменяемость модулей обеспечивает быстрый и качественный ремонт. При описании работы нагревательных элементов отдельное внимание уделено схеме подключения линии обогрева к энергосети Московского метрополитена. Отмечается возможность внесения изменений в конструкцию шкафа



управления электрообогревом. Таким образом, показано преимущество стандартного метода обеспечения безопасности движения поездов в холодном климате по сравнению с инновационными методами, основанными на применении нагрева определенных участков рельса с помощью ИК-излучения.

### Источники

1. Марченко В.И., Харитонов Ю.Н. Энергетическая эффективность и электромагнитная совместимость модульной системы электрообогрева стрелочных переводов рельсового транспорта // Сб. докладов IX Всероссийской научно-технической конференции по электромагнитной совместимости технических средств и электромагнитной безопасности (ЭМС-2006). СПб., 2006. С. 484–488.

2. Канарский В.А., Халиман В.В. Современные подходы к диагностике стрелочных переводов в мировой практике // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. 2023. № 4. С. 37–42.

3. Танеева Т.А., Бердникова Т.А. Технология геотермального обогрева стрелочных переводов // Наука и образование транспорту. 2014. С. 305, 306.

4. Ермоленко Д.В., Кирин О.Ю. Перспективы использования индукционного обогрева стрелочных переводов // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2012. С. 32–35.

5. Глюзберг Б.Э. Интегральные показатели надежности стрелочных переводов и стрелочного хозяйства // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. 2016. С. 39–42.

6. Глюзберг Б.Э. Стрелочные переводы для работы в условиях северного широтного хода // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. 2023. С. 31–33.

7. Канарский В.А. Обнаружение предотказного состояния стрелочного перевода по графику активной мощности // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2023. № 4(67). С. 40–46.

8. Ромен Ю.С., Глюзберг Б.Э., Тимакова Е.А., Быков В.А. Особенности математического моделирования динамических процессов прохождения вагоном стрелочного перевода // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2020. № 3. С. 119–126.

9. Басовский Д.А., Говоров В.В., Козлов И.С. Новое решение системы обогрева железнодорожных стрелочных переводов путей необщего пользования // Бюллетень результатов научных исследований. 2019. Вып. 3. С. 38–45.

10. Зарубин В.С. Инженерные методы решения задач теплопроводности. М.: Энергоатомиздат, 1983. 170 с.

11. Диткин В.А., Прудников А.П. Интегральные преобразования и операционное исчисление. М.: Физматгиз, 1961. 210 с.

12. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. М.: Физматгиз, 1963. 40 с.

### References

1. Marchenko V.I., Kharitonov Yu.N. Energy efficiency and electromagnetic compatibility of a modular system of electric heating of turnouts of rail transport // Collection of reports of the IX All-Russian scientific and technical conference on electromagnetic compatibility of technical means and electromagnetic safety (EMS-2006). St. Petersburg, 2006. Pp. 484–488.

2. Kanarsky V.A., Khaliman V.V. Modern approaches to diagnostics of turnouts in world practice // Transport of the Asia-Pacific Region. 2023. No. 4. Pp. 37–42.

3. Taneeva T.A., Berdnikova T.A. Technology of geothermal heating of turnouts // Science and education in transport. 2014. Pp. 305, 306.

4. Ermoolenko D.V., Kirin O.Yu. Prospects for Using Induction Heating of Turnouts // Bulletin of the Research Institute of Railway Transport. 2012. Pp. 32–35.

5. Glyuzberg B.E. Integral Reliability Indicators of Turnouts and Turnout Facilities // Implementation of Modern Designs and Advanced Technologies in Track Facilities. 2016. Pp. 39–42.

6. Glyuzberg B.E. Turnouts for Operation in Northern Latitudinal Railway Conditions // Implementation of Modern Designs and Advanced Technologies in Track Facilities. 2023. Pp. 31–33.

7. Kanarsky V.A. Detection of a Pre-Failure State of a Turnout Based on the Active Power Schedule // Bulletin of the Siberian State Transport University. 2023. No. 4(67). Pp. 40–46.

8. Romen Yu.S., Glyuzberg B.E., Timakova E.A., Bykov V.A. Features of mathematical modeling of dynamic processes of a car passing through a turnout // Bulletin of the Research Institute of Railway Transport. 2020. No. 3. P. 119–126.

9. Basovsky D.A., Govorov V.V., Kozlov I.S. New solution for the heating system of railway turnouts of non-public tracks // Bulletin of scientific research results. 2019. Issue 3. P. 38–45.

10. Zarubin V.S. Engineering methods for solving heat conductivity problems. Moscow: Energoatomizdat, 1983. 170 p.

11. Ditkin V.A., Prudnikov A.P. Integral transformations and operational calculus. M.: Fizmatgiz, 1961. 210 p.

12. Gradshteyn I.S., Ryzhik I.M. Tables of integrals, sums, series and products. M.: Fizmatgiz, 1963. 40 p.



ГРНТИ 55.01.37

УДК 658.56

# Концепция цифрового завода и его внедрение в мебельное производство

**Олаев В. А.,**

аспирант, ФГБОУ ВО Чувашский  
государственный университет  
имени И. Н. Ульянова; г. Чебоксары  
teste12@yandex.ru

**Аннотация.** В данной статье рассматривается понятие концепции цифрового завода – что это такое, как он устроен, в чем суть данной концепции, каковы его основные функции и признаки. Кроме того, автором статьи раскрывается вопрос того, для чего нужен цифровой завод в мебельном производстве и в чем его преимущества. Помимо этого автор статьи в своем материале также анализирует, насколько важно внедрение цифрового завода на мебельном производстве и какие результаты может дать внедрение данной концепции в производстве мебели.

**Ключевые слова:** цифровой завод, умный завод, цифровое производство, концепция умного завода, плюсы цифрового завода, внедрение цифрового завода.

**Summary.** This article examines the concept of a digital plant – what it is, how it is structured, what is the essence of this concept, what are its main functions and features. In addition, the author of the article reveals the question of why a digital plant is needed in furniture production, what are its advantages. In addition, the author of the article in his material also analyzes how important it is to implement a digital plant in furniture production and what results the implementation of this concept in furniture production can give.

**Keywords:** digital plant, smart plant, digital production, smart plant concept, advantages of a digital plant, implementation of a digital plant

## Введение

Целью статьи является не только изучение понятия цифрового завода в целом, также автору важно раскрыть данное понятие с разных сторон: узнать, как устроен цифровой завод, в чем суть

этой концепции и в чем отличия цифрового завода, как он работает, каковы его функции и в чем преимущества данной концепции. Кроме того, своей целью автор также ставит проанализировать, какие результаты может дать внедрение концепции цифрового завода на мебельном производстве.

## Актуальность

В современном мире высоко влияние цифровизации на многие процессы. И производство мебели не исключение. Связано это не только с тем, что внедрение «умного» завода позволяет увеличивать эффективность мебельного производства, также это позволяет улучшить результаты различных операций и при этом снижать затраты.

Помимо этого внедрение цифрового завода дает мебельным компаниям возможность сокращать простои на производстве, снижать расходы на техобслуживание, траты на хранение сырья (материала) и при этом повышать трудовую производительность.

Стоит упомянуть еще и тот факт, что сегодня, когда рынок довольно быстро меняется, многим компаниям приходится столь же быстро перенастраиваться, адаптироваться – и нередко это происходит за счет того, что приходится менять параметры операций на производстве. И чем быстрее компания сможет изменить свою работу, тем выше будет не только качество товара или обслуживания потребителя, но и лояльность покупателя.

Поскольку применение «умного» завода позволяет автоматизировать большинство или даже все производственные операции, за счет этого уменьшается время, которое сотрудники обычно тратят на выполнение привычных заданий, а значит, это экономит время.

Цифровизация снижает число ошибок, которые могут допустить люди, – ведь «умный» завод может обработать гораздо больше информации, при этом не совершив большого количества ошибок, что в свою очередь положительно влияет на скорость выпуска новых продуктов на рынок, а также на их качество.

Немаловажным фактом является и то, что концепция цифрового завода дает возможность взять



полностью под контроль все производственные процессы, а это значит, что появляется возможность свести к нулю аварийность и количество несчастных случаев на производстве, что позволяет повысить уровень защиты для работников производства и уменьшить влияние имеющихся на производстве вредных факторов.

### Используемые методы и подходы

Для того чтобы более полно изучить вопрос внедрения концепции цифрового завода в мебельное производство, рассмотрим, что значит термин «умный завод», когда и где он появился. Также узнаем, где и когда это понятие стало применяться в России, какая есть сегодня практика внедрения цифрового завода в Европе и РФ, и выясним, какие есть преимущества у работы с данной концепцией.

Кроме того, узнаем, получила ли концепция «умного» завода внедрение в мебельном производстве в России и что дает и может дать применение цифрового завода в мебельном производстве.

### Роль цифрового завода в современном мире

Под понятием «умный», или цифровой завод, сегодня принято понимать интеллектуальное предприятие, где работа строится исключительно по модульному принципу. На таком предприятии в работе используются стандартизированные интерфейсы, а также применяются новейшие информационные технологии – все это дает более гибкую автоматизацию, возможность сократить цикл производства товаров и предложить товар по более выгодной, низкой стоимости [1].

Впервые понятие «умного», или цифрового, завода сформировалось не столь давно – порядка 10 лет назад. Сегодня термин «умный завод» может применяться в случае описания предприятия, где успешно внедрены роботы, искусственный интеллект, цифровизация, применение информационных технологий и иных инновационных систем. Сам термин родился в ходе исследований в сфере технологий производства.

Принято считать, что определение цифрового, или умного, завода принадлежит ученым из Штутгартского университета. Этот термин озвучен ими в работе «*Smart Factory – A Step towards the Next Generation of Manufacturing*» («Умная фабрика – как шаг навстречу новому поколению производства»). В этой работе ученые озвучивают мысль, что smart manufacturing, или умный, завод – это такая производственная система, которая может, учитывая ситуацию и ее контекст, помогать и персоналу, и машинам, благодаря внедрению в систему управ-

ления ежедневными рабочими процессами, информационных технологий и средств коммуникации. Согласно данной стратегии, на данном заводе производство будет выстроено таким образом, что оборудование и производственные системы смогут оптимизироваться и организовываться самостоятельно [8].

В России понятие «цифровая экономика» было озвучено в 1995 г. Тогда под этим понятием имелось в виду использование разного рода информационных технологий, многие из которых на тот момент только набирали оборот в нашей стране. Например, мобильная связь. Дальнейший этап цифровизации в РФ – возможность выходить в Интернет у большего количества пользователей.

На первых порах цифровизация проходила достаточно медленно, но уже тогда – в конце 1990-х и начале 2000-х стало понятно, что цифровые решения очень эффективны, поэтому страна продолжала расти в этой области, успешно применяя зарубежный опыт. И сегодня Россия занимает лидирующие позиции в рейтинге цифровых стран, среди которых США, Китай, Япония, Франция, Сингапур, Индия, Великобритания, Испания, Канада, Южная Корея.

Среди отличительных особенностей цифрового завода принято выделять:

- наличие единой системы управления информацией внутри производства, наличие единого внутреннего информационного пространства;
- моделирование технологических и бизнес-процессов проводится цифровыми методами;
- работа с передовыми производственными технологиями (например, обработка деталей, прием и обработка заявок и пр.) [2].

И если в самом начале, когда понятие цифрового завода только появлялось, под ним понимали лишь предприятие, где успешно и активно используют автоматизированные системы, то сегодня данный термин принято понимать уже более масштабно, широко.

Сегодня, говоря о цифровом производстве, говорим уже о создании для предприятия своего рода цифрового «близнеца». Например, перед тем, как из листов ДСП изготовить стол, дизайнеры с помощью современных программ создают виртуальный образ изделия (3D копия будущего товара), которая затем проходит все производственные этапы. Это хорошо тем, что в данном случае производитель сразу может увидеть, с какими сложностями и возможными издержками придется столкнуться в процессе изготовления товара, просчитать все риски и при этом не потратить деньги на изготовление заказа [3].



Сегодня в РФ цифровизация применяется в разных сферах. В частности, это:

- страхование и финансы;
- строительство автомобилей;
- авиационная и ракетная отрасли;
- медицина и образование;
- продажи и торговля;
- системы информационной безопасности и многие другие.

При этом в каждой из сфер есть собственные пути цифровизации. Так, например, в портфеле компании «Росатом» имеются готовые решения для всех сфер, названных выше, а также, как сообщается на сайте компании, представлено свыше 60 продуктов, которые максимально безболезненно могут цифровизировать компанию [9].

По прогнозам Минэнерго, в России к концу 2024 г. доля компаний, которые используют на производстве искусственный интеллект (далее – ИИ), должна была вырасти до 22%. При этом число организаций, где применяется технология «цифровой двойник производства», должна была вырасти до 45%. По мнению специалистов Министерства энергетики РФ, уже к 2030 г. эти показатели превысят 80%. И, как итог внедрения этих действий, к 2035 г. эффект цифровизации может составить 700 млрд руб. [4].

Сегодня цифровизация промышленности – одно из приоритетных направлений для многих предприятий страны. Ведь, невзирая на введение санкций, в 2022 г. почти две трети российских компаний не снизили расходы на цифровизацию – напротив, 16% предприятий даже увеличили расходы в этой части [6].

Что касается стран Европы, здесь динамика развития ИИ значительно отличается от аналогичных процессов в Китае или США. Связано это с тем, что в ЕС более сложная правовая структура, а также и с тем, что средний и малый бизнес составляет порядка 60% рынка Европы. К примеру, в 2018 г. США тратили на информационные технологии более 3% ВВП, Китай – более 2%, в то время как в странах ЕВ – всего около 1,7%, на сегодня же искусственный интеллект в Европе внедрен всего в 48% компаний. При этом Индия, Северная Америка и страны Азиатско-Тихоокеанского региона (Китай, Малайзия, Таиланд, Южная Корея и др.) значительно обогнали Европу в данном вопросе.

Согласно статистическим данным, на 2020 г. больше всего предприятий, где использовали искусственный интеллект в Европе, – Ирландия (23% компаний), далее в списке Мальта с ее 19%, а также Финляндия и Дания, где только 12 и 11% предприятий соответственно используют технологии ИИ.

Сегодня среди европейских государств Германия стала одной из передовых стран в части приме-

нения ИИ – особенно широко цифровизация применяется здесь в машиностроении. Сообщается, что более 50% патентов для автономного вождения, что были зарегистрированы в мире за период с 2010 по 2017 г., принадлежали фирмам из Германии [10].

### Отличия цифрового завода

Итак, что такое цифровая фабрика? По сути, это совершенно новое, иное качество производства. Мы живем в мире, когда все меняется чрезвычайно быстро, и цифровизация здесь играет большую роль – она позволяет компаниям быстрее реагировать на изменения рынка, а значит, повышать свою конкурентоспособность.

С помощью новейших цифровых технологий цеха на предприятии можно преобразовать в современное, функциональное пространство, где все можно контролировать – от закупки и поставки сырья и заканчивая отправкой готового товара заказчиком. При этом на «офлайн»-заводе, чтобы понять, как происходит работа, необходимо совершать много действий: заполнять и проверять журналы учета, сверять данные приборов и многое другое. Этот процесс не просто долгий и трудоемкий, он во многом зависит от самого человека, а значит, возрастает риск возникновения ошибок.

В то время как на цифровом предприятии все процессы объединены программами, здесь все внутренние процессы автоматизированы, и хотя роль человека по-прежнему достаточно велика, она, тем не менее, больше направлена на контроль «роботов», что позволяет вывести производство на новый уровень [4].

Подытоживая, скажем, что цифровой завод – это предприятие, где информационные технологии важны для перестройки бизнеса в целом и выведения его на качественно новый уровень работы.

### Задачи цифрового завода

Основной целью цифровизации является адаптация предприятия под новые условия, под новую реальность – сделать компанию более гибкой, конкурентоспособной, также это дает возможность руководству компании понять и увидеть, что на данный момент необходимо рынку, в чем он нуждается, чтобы максимально точно и быстро наладить работу производства.

Среди основных задач, которые призвана решить цифровизация, называют:

- рост производительности труда;
- грамотное использование сырья и ресурсов;
- уменьшение себестоимости товара;
- рост эффективности производства и компании в целом.



И подобное комплексное влияние на все производственные процессы позволяет предприятиям не только укрепить свою позицию на рынке среди конкурентов, но также повысить скорость изготовления новых товаров, улучшить их качество и быстрее выполнять заказы клиентов.

Таким образом, ИИ позволяет объединить производственные процессы в единую систему, создав единое пространство, что позволяет в режиме «здесь и сейчас» качественно контролировать весь процесс работы и, соответственно, делает управление всем предприятием более эффективным [6].

### Преимущества цифрового завода

Почему же внедрение цифрового завода столь выгодно для предприятий? Перечислим несколько ключевых преимуществ:

- возможность одновременно сокращать затраты и при этом увеличить эффективность производства. Современные цифровые технологии дают возможность компаниям снижать не только затраты на техобслуживание станков и машин, но также снижать и их простои. Кроме того, это позволяет наращивать производительность и при этом снижать длительность цикла производства товаров;

- увеличение производственной гибкости. При внедрении на производстве цифрового завода компания, в случае изменений, может быстрее перейти на «новые рельсы» благодаря оперативной перенастройке. Ведь чем более гибким является производство, тем выгоднее для компании: это позволяет создать для бизнеса конкурентное преимущество и улучшает качество обслуживания заказчиков и покупателей;

- уменьшение человеческого фактора. Благодаря цифровизации можно автоматизировать многие или даже все рабочие процессы на максимум. Как следствие этого – ощутимо снижаются потери рабочего времени, уменьшается выработка бракованных товаров, растет скорость обработки информационных данных, улучшается качество выпускаемого товара;

- повышение уровня безопасности. Внедрение цифровизации на предприятии значительно уменьшает случаи возникновения аварий и травм среди сотрудников, повышает уровень защиты рабочих. Также это позволяет снизить влияние вредных факторов на производстве [11].

Также стоит отметить и другие преимущества внедрения digital-процессов. В частности, это:

- оперативное изменение настроек, когда необходимо быстро перейти от производства одного вида изделий к другому;

- возможность сделать производственный цикл более коротким, а также ускорить и упростить про-

ектирование (даже при работе со сложными видами товаров);

- благодаря быстрой проверке качества – снижение срока разработки и выпуска продукции на рынок;

- с применением интеллектуального проектирования также появляется возможность сократить объемы сырья;

- более высокое качество логистики благодаря автоматизированной аутентификации и обмену информационными данными [13].

### Цифровизация мебельного производства

Цифровизация играет большую роль в мебельном производстве. Она не только может помочь мебельным предприятиям прийти к полному управлению и контролю процессов, начиная от процесса производства товаров и завершая их продажей, также внедрение цифровых технологий может помочь отследить в режиме реального времени каждый этап – от момента закупки сырья и завершая доставкой товаров до потребителя или заказчика, гарантируя при этом как качество самого товара, так и сроки его доставки.

Кроме того, применение digital-технологий в мебельной промышленности способно помочь производителям и продавцам мебели отслеживать и управлять запасами на более высоком уровне – это позволит снизить затраты и уйти от финансовых потерь, которые могут быть обусловлены скоплениями запасов.

Применение цифровизации также позволит мебельным компаниям выйти на индивидуальное производство, ведь потребности потребителей в индивидуальном товаре растут постоянно, и удовлетворить нужды покупателей, предлагая типовые варианты мебели, уже практически невозможно.

Благодаря цифровым технологиям у мебельных предприятий появляется возможность реализовать индивидуальное производство продукции – таким образом покупатели смогут заказывать и приобретать товары с учетом своих вкусовых предпочтений по цвету, размерам, материалу. И это значит, что удовлетворенность клиентов будет закрыта, что сделает такое предприятие более конкурентоспособным на рынке.

Еще один немаловажный аспект: цифровые решения помогут производителям мебели лучше продвигать свои рынки. Иными словами, предприятия по изготовлению мебели смогут реализовывать продукцию посредством разных цифровых каналов: электронная коммерция, соцсети, маркетплейсы, что позволит увеличить узнаваемость бренда и повысить лояльность к нему.



И последнее: внедрение цифровых решений позволит компаниям по производству мебели снизить собственные затраты и одновременно повысить уровень производственной эффективности. Также с помощью digital-технологий у мебельных производств появляется возможность улучшить управление процессами и более оптимально распределять персонал – это значит, что у компаний появляется больше преимуществ среди конкурентов, а клиенты получают товар более высокого качества по наилучшей цене [12].

Сегодня при автоматизации производства мебели используются следующие технологии и оборудование:

- станки – автоматического и полуавтоматического типа работы. В частности, сегодня для обработки металла или дерева уже созданы станки, которые позволяют производить не только отдельные детали мебели, но и целые конструктивные группы;

- автоматизация процессов и поточные линии производства. Последние применяются при серийном изготовлении мебели, где каждый этап соответствует технологическим процессам благодаря автоматическому выполнению. Такое решение позволяет сделать производство более быстрым, не теряя при этом в качестве конечного продукта;

- полная, частичная или малая автоматизация и механизация. Сюда входит использование разных станков и устройств для выполнения конкретных операций. При этом малая механизация делает ручные операции проще и легче, частичная позволяет охватить несколько разноплановых операций на отдельных автоматах или станках, полная – охватывает большие производственные участки [13].

Какие цифровые технологии сегодня чаще всего внедряют в производстве мебели? В основном это прикладные системы, базирующиеся на инновационных технологиях. В частности, это роботизированные склады, полностью или частично роботизированные линии, которые успешно используются на сборке и комплектации мебели.

Помимо этого сейчас также большие перспективы видны за цифровым моделированием и 3D-печатью, которая позволяет быстро воссоздать копию готового товара. Кроме того, активно начинают использоваться синхронизированные взаимосвязанные системы, которые позволяют контролировать как безопасность процесса производства, так и качество товаров. В нашей стране внедрение данных решений сегодня сосредоточено на развитии безопасности и облачных центров [14].

### Пример внедрения системы автоматизации на мебельной фабрике

В качестве примера предлагаем рассмотреть возможности внедрения цифровизации в мебельном производстве на примере крупной компании по изготовлению корпусной и мягкой мебели, текстиля для дома, а также заготовок и комплектующих для своих товаров. В составе компании свыше десяти производственных объектов, куда также входят швейное предприятие и производство по обработке дерева.

И до момента внедрения цифровых систем учет на данном предприятии велся с помощью доработанной версии 1С:Управление производственным предприятием. Но это не давало компании возможности эффективного управления всеми процессами на производстве, также это не позволяло снизить трудозатраты.

Но запуск системы диспетчеризации и автоматизации позволил компании автоматизировать все десять производственных площадок, которые охватывают полный цикл изготовления мебели. В итоге в компании смогли внедрить все модули, которые были необходимы – от планирования производства на год вперед до отчетности по бухгалтерии.

Также, благодаря внедрению автоматизации, компания смогла достичь следующих показателей:

- трудозатраты на проведение текущих процессов снизились на 30%;

- операционные и административные расходы снизились на 10%;

- получение управленческой отчетности стало происходить в 10 раз быстрее;

- появилась возможность получать регламентированную отчетность на 100%.

Таким образом, видим, что благодаря внедрению цифрового завода на производстве, компания смогла повысить эффективность своей работы, улучшить управление процессами и снизить издержки [13].

### Результаты

Современные интеллектуальные процессы, которые также принято называть цифровыми технологиями, цифровизацией, при изготовлении мебели позволяют улучшить производство, потому что обратная связь происходит непрерывно. Различные датчики и современные программы дают возможность отследить все, даже самые незначительные и едва уловимые движения или изменения рабочего состояния во всей производственной системе, создающей продукцию.

Все эти программы и датчики собирают всю информацию и оперативно передают ее, создавая тем самым общую картину производственного про-



цесса. И здесь уже можно так же оперативно выявить малейшие несоответствия или нарушения и устранить, наладить их, что делает весь процесс более стабильным, эффективным и безопасным, что выгодно и для компании, и для потребителя: производству это дает возможность снизить массу издержек, вывести компанию на более высокий уровень на рынке, повысить конкурентоспособность, а значит, сделать цену на производимый товар более выгодной для покупателя.

#### Выводы

Подытоживая все сказанное выше и говоря о концепции цифрового завода и его внедрении в мебельное производство, первое, что важно отметить, – в современном мире цифровизация мебельного производства крайне актуальна. Внедрение цифровых решений позволяет мебельным предприятиям снижать производственные риски и издержки, повышать уровень безопасности на производстве, более оперативно принимать и исполнять заявки клиентов, выводить компанию на качественно высокий уровень на рынке, делая ее более конкурентоспособной. Также внедрение digital-технологий дает возможность на местах выявлять возникающие в процессе производства проблемы и оперативно устранять их.

В результате в компании появляется возможность значительно снизить трудозатраты, а также операционные и административные расходы, при этом становится возможным в несколько раз быстрее получать разного рода внутреннюю отчетность.

Таким образом, благодаря искусственному интеллекту компании по изготовлению мебели могут полностью автоматизировать разные процессы, что позволит снизить процент ошибок, совершаемых сотрудниками (снижается уровень человеческого фактора) и повысить качество готового продукта.

#### Источники

1. «Умный» завод [Электронный ресурс]. PILZ. URL: <https://www.pilz.com/ru-RU/support/lexicon/articles/187807>

2. Ткаченко И.С., Антипов Д.В., Куприянов А.В., Смелов В.Г., Кокарева В.В. Концептуальная модель цифрового завода производственного предприятия аэрокосмической отрасли // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2023. Т. 25. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptualnaya-model-tsifrovogo-zavoda-proizvodstvennogo-predpriyatiya-aerokosmicheskoy-otrasli/viewer>

3. Что такое цифровое производство? [Электронный ресурс]. Comindware.

2020. 20 мая. URL: <https://www.comindware.ru/blog/%D1%87%D1%82%D0%BE-%D1%82%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%B5-%D1%86%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B7%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE/> (дата обращения 18.03.2025)

4. Цифровой завод: как объединить бизнес и технологические процессы на производстве [Электронный ресурс]. Dprom.Online 2024. 19 сентября. URL: <https://dprom.online/metallurgy/tseefrovoyi-zavod-tyehnologeechyeskeeye/>

5. Современное цифровое предприятие – что это? [Электронный ресурс]. DIS Group. URL: <https://dis-group.ru/blogs/sovremennoe-cifrovoe-predpriyatie-cto-eto/#:~:text=%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B8%D0%BD%20%D1%86%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5%20%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%8F%D1%82%D0%B8%D0%B5,%D0%B2%D0%BD%D1%83%D1%82%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B8%D1%85%20%D0%B8%D0%BB%D0%B8%20%D0%B2%D0%BD%D0%B5%D1%88%D0%BD%D0%B8%D1%85%20%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA-%D0%BE%D0%B2%20%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B8>

6. Цифровизация промышленности: задачи, преимущества внедрения [Электронный ресурс]. Сбер Бизнес Софт.2024. 25 января. URL: <https://sberbs.ru/announcements/cifrovizaciya-promyshlennosti-zadachi-preimushestva-vnedreniya>

7. Цифровизация промышленности: передовые технологии в производственных процессах, перспективы [Электронный ресурс]. DigitalRosatom. 2025. 8 апреля. URL: <https://digitalrosatom.ru/blog/184>

8. Умное производство [Электронный ресурс]. IOT.ru. URL: <https://iot.ru/wiki/umnoe-proizvodstvo>

9. Цифровизация в РФ: история, цели, этапы, развития и типичные проблемы [Электронный ресурс]. DigitalRosatom. 2025. 18 февраля. URL: <https://digitalrosatom.ru/blog/188>

10. Технологии искусственного интеллекта в Европе [Электронный ресурс]. Хабр. 2023. 14 июля. URL: <https://habr.com/ru/companies/onlinepatent/articles/748102/>

11. Ключевые преимущества цифрового производства для промышленных предприятий [Электронный ресурс]. Библиотека Нейро. URL: [https://ya.ru/neurum/c/tehnologii/q/v\\_chem\\_zaklyuchayutsya\\_klyuchevye\\_preimushestva\\_4aea398a](https://ya.ru/neurum/c/tehnologii/q/v_chem_zaklyuchayutsya_klyuchevye_preimushestva_4aea398a) (дата обращения 04.04.2025)



12. «Индустрия мебели проходит цифровую трансформацию» [Электронный ресурс]. Kangda. 2024. 31 января. URL: [https://ru.cngd-kangda.com/News\\_Detail/1.html](https://ru.cngd-kangda.com/News_Detail/1.html)

13. Игорь Сорокин. Автоматизация мебельного производства [Электронный ресурс]. ПриборЭнер-

го. 2024. 12 мая. URL: <https://xn--90aefk0afdbjdc7m.xn--p1ai/press/avtomatizaciya-mebel'nogo-proizvodstva/>

14. Цифровые технологии в производстве – в чем преимущество [Электронный ресурс]. Mechanizon. URL: <https://tsa.su/news/cifrovye-tehnologii-v-proizvodstve/>

### References:

1. "Smart" plant — URL: <https://www.pilz.com/ru-RU/support/lexicon/articles/187807> (Accessed: 21.03.2025)
2. I.S. Tkachenko, D.V. Antipov, A.V. Kupriyanov, V.G. Smelov, V.V. Kokareva. Conceptual model of a digital plant of an aerospace manufacturing enterprise: // Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Vol. 25, No. 3, 2023. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptualnaya-model-tsifrovogo-zavoda-proizvodstvennogo-predpriyatiya-aerokosmicheskoy-otrasli/viewer> (Accessed: 21.03.2025)
3. What is digital manufacturing? — URL: <https://www.comindware.ru/blog/%D1%87%D1%82%D0%BE-%D1%82%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%B5-%D1%86%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B7%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE/> (date of access 03/18/2025)
4. Digital factory: how to combine business and technological processes in production — URL: <https://dprom.online/metallurgy/tseefrovoyi-zavod-tyehnologeechyeskeeye/> (date of access 20.03.2025)
5. Modern digital enterprise - what is it? - URL: <https://dis-group.ru/blogs/sovremennoe-czifrovoe-predpriyatie-cto-eto/#:~:text=%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B8%D0%BD%20%D1%86%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5%20%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%8F%D1%82%D0%B8%D0%B5,%D0%B2%D0%BD%D1%83%D1%82%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B8%D1%85%20%D0%B8%D0%BB%D0%B8%20%D0%B2%D0%BD%D0%B5%D1%88%D0%BD%D0%B8%D1%85%20%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%20%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B8> (date of access 19.03.2025)
6. Digitalization of industry: tasks, advantages of implementation — URL: <https://sberbs.ru/announcements/cifrovizaciya-promyshlennosti-zadachi-preimushesva-vnedreniya> (date of access 20.03.2025)
7. Digitalization of industry: advanced technologies in production processes, prospects — URL: <https://digitalrosatom.ru/blog/184> (date of access 21.03.2025)
8. Smart production — URL: <https://iot.ru/wiki/umnoe-proizvodstvo> (date of access 22.03.2025)
9. Digitalization in the Russian Federation: history, goals, stages, development and typical problems — URL: <https://digitalrosatom.ru/blog/188> (date of access 01.04.2025)
10. Artificial Intelligence Technologies in Europe — URL: <https://habr.com/ru/companies/onlinepatent/articles/748102/> (date of access 05.04.2025)
11. Key Advantages of Digital Production for Industrial Enterprises — URL: [https://ya.ru/neurum/c/tehnologii/q/v\\_chem\\_zaklyuchayutsya\\_klyuchevye\\_preimushesva\\_4aea398a](https://ya.ru/neurum/c/tehnologii/q/v_chem_zaklyuchayutsya_klyuchevye_preimushesva_4aea398a) (date of access 04.04.2025)
12. “The Furniture Industry is Undergoing a Digital Transformation” — URL: [https://ru.cngd-kangda.com/News\\_Detail/1.html](https://ru.cngd-kangda.com/News_Detail/1.html) (date of access 04.04.2025)
13. Automation of Furniture Production — URL: <https://xn--90aefk0afdbjdc7m.xn--p1ai/press/avtomatizaciya-mebel'nogo-proizvodstva/> (date of access 04.04.2025)
14. Digital technologies in production - what is the advantage - URL: <https://tsa.su/news/cifrovye-tehnologii-v-proizvodstve/> (date of access 05.04.2025)



# Оценка экономической эффективности автоматизации реактора гидроочистки вакуумного газойля на базе вибрационного управления

## Е.Л. Царегородцев,

доцент, канд. техн. наук  
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске  
e-mail: evgenca@rambler.ru

## В.А. Фомин,

магистр, ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»  
в г. Смоленске  
e-mail: Valerafoma29@gmail.com

## Р.А. Аль Дивани,

магистр, ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»  
в г. Смоленске  
e-mail: ruslan23312@mail.ru

**Аннотация.** Вибрационное управление позволяет поддерживать оптимальный режим работы реактора, минимизируя образование кокса и повышая степень конверсии целевых продуктов. Это приводит к снижению энергозатрат, увеличению выхода дизельного топлива и улучшению его качества. Внедрение данной технологии требует детального изучения гидродинамики реактора и оптимизации параметров вибрации для каждого типа катализатора и сырья. Эффективность вибрационного управления во многом зависит от точности и надежности работы системы автоматизации. Необходимо обеспечить стабильность показаний датчиков и оперативность реагирования контроллера на изменения параметров процесса. Важным аспектом является разработка математической модели реактора, учитывающей влияние вибрации на гидродинамику и кинетику реакций. Это позволит более точно прогнозировать поведение системы и оптимизировать алгоритмы управления.

**Ключевые слова:** газойль, экономическая эффективность, расчет, вибрация, реактор.

**Summary.** Vibration control makes it possible to maintain optimal reactor operation, minimizing coke formation and increasing the conversion rate of target products. This leads to a reduction in energy consumption, an increase in the yield of diesel fuel and an improvement in its quality. The implementation of this technology requires a detailed study of the hydrodynamics of the reactor and optimization of vibration parameters for each type of catalyst and raw materials. The effectiveness of vibration control largely depends on the accuracy and reliability of the automation system. It is necessary to ensure the stability of sensor readings and the responsiveness of the controller to changes in process parameters. An important aspect is the development of a mathematical reactor model that takes into account the effect of vibration on the hydrodynamics and kinetics of reactions. This will make it possible to more accurately predict the behavior of the system and optimize control algorithms.

**Keywords:** gas oil, economic efficiency, calculation, vibration, reactor.

Целью работы является оценка экономической эффективности системы автоматизированного вибрационного управления реактором гидроочистки вакуумного газойля.

Ожидаемый технологический результат: интенсификация массопереноса и теплообмена вибрационного управления; повышение конверсии и снижение содержания серы; разработка системы автоматизированного вибрационного управления, экспериментальное подтверждение эффективности вибрационного воздействия на процесс гидроочистки.

Методы исследования: математическое моделирование, статистический анализ данных.

Система автоматизированного вибрационного управления реактором гидроочистки вакуумного газойля (САВУ РГГ) предназначена для повышения эффективности процесса за счет оптимизации гидродинамического режима и интенсификации

массообмена в реакторе. Ключевым элементом является вибровозбудитель, генерирующий контролируемые колебания, которые предотвращают образование каналов и локальных перегревов, обеспечивая равномерное распределение газожидкостной смеси и катализатора.

САВУ РГГ включает датчики вибрации, температуры, давления и расхода, связанные с центральным контроллером [1]. Этот контроллер, используя специализированные алгоритмы, управляет параметрами вибрации (амплитуда, частота), оптимизируя процесс в реальном времени на основе получаемых данных.

Автоматизация реактора гидроочистки вакуумного газойля с помощью вибрационного управления представляет собой перспективный подход к оптимизации процесса и повышению его эффективности (рис. 1).

Система автоматизации включает датчики температуры, давления, расхода сырья и водорода, а также вибродатчики, регистрирующие параметры вибрации катализатора. Полученные данные обрабатываются контроллером, который на основе заданных алгоритмов регулирует интенсивность вибрационного воздействия, подачу реагентов и температуру реактора.

При проектировании системы автоматизации необходимо учитывать требования безопасности, предъявляемые к оборудованию, работающему в условиях высоких температур и давлений. Следует предусмотреть систему аварийной остановки реактора в случае выхода параметров за допустимые пределы. Также необходимо обеспечить защиту вибродатчиков от воздействия агрессивной среды и высоких температур.

Внедрение автоматизированной системы вибрационного управления реактором гидроочистки вакуумного газойля требует комплексного подхода, включающего разработку проектной документации, поставку оборудования, монтажные и пусконаладочные работы, а также обучение персонала.

Математическая модель процесса каталитического крекинга представляет собой систему дифференциальных уравнений, при этом концентрация реагентов изменяется по времени, контакта с условиями:  $\tau = 0, C_i = 0$  [1].

Закон действующих масс позволяет записать выражения скоростей реакций процесса, как прямых, так и обратных. Метод Эйлера позволяет решить данную систему дифференциальных уравнений [2].

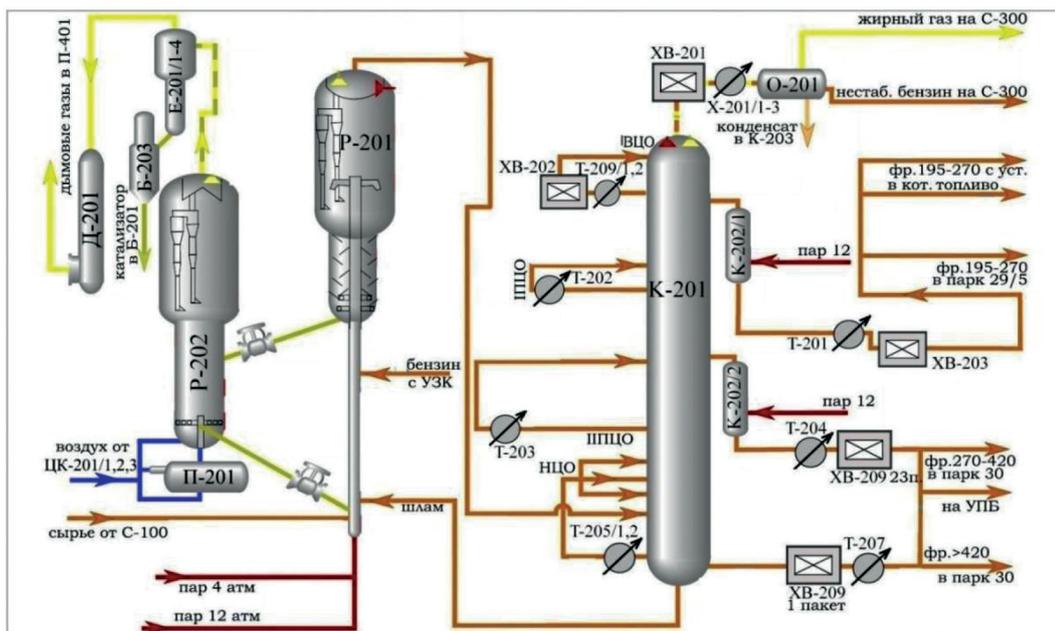


Рисунок 1. Реакторно-регенераторный блок и ректификация продуктов крекинга ПНХЗ: Р-201 – реактор; Р-202 – регенератор; К- 201 – колонна ректификации продуктов; К-202/1, К-202/2 – отпарная колонна; О-201 – отстойник; П-201 – форсунка; ЦК-201/1, 2, 3 – компрессор; Е-201/1-4 – выносные циклоны; Б-203 – уловленного катализатора; Д-201 – аппарат снижения давления газов регенерации; Т-201, 202, 203, 204, 205/1, 2, 207, 209/1, 2 – теплообменник; ХВ-201, 202, 203, 209 – воздушный холодильник; Х-201/1-3 – доохладитель

Источник: [2]



Математическая модель проекта реактора гидроочистки:

$$\left\{ \begin{aligned}
 \frac{dC_{\text{парафинВМ}}}{dt} &= -k_1 C_{\text{параф.ВМ}} - k_2 C_{\text{параф.ВМ}}; \\
 \frac{dC_{\text{парафинСМ}}}{dt} &= k_1 C_{\text{параф.ВМ}} - k_3 C_{\text{параф.СМ}} - k_4 C_{\text{параф.СМ}} + k_{-4} C_{\text{изопараф.}}; \\
 \frac{dC_{\text{изопарафин}}}{dt} &= k_2 C_{\text{параф.ВМ}} + k_4 C_{\text{параф.СМ}} - k_{-4} C_{\text{изопараф.}} - \\
 &\quad - k_5 C_{\text{изопараф.}} + k_7 C_{\text{олефины}} C_{\text{нафты}}; \\
 \frac{dC_{\text{олефин}}}{dt} &= k_1 C_{\text{параф.ВМ}} + k_2 C_{\text{параф.ВМ}} - k_6 C_{\text{олефины}} + k_{-6} C_{\text{газ}} - \\
 &\quad - k_7 C_{\text{нафты}} C_{\text{олефины}} + k_8 C_{\text{параф.ВМ}} + k_9 C_{\text{ароматика}} - k_{13} C_{\text{олефины}} - \\
 &\quad - k_{-9} C_{\text{моноаром.}} C_{\text{олефины}} + k_{-13} C_{\text{нафты}} + k_{14} C_{\text{моноаром.}} - k_{-14} C_{\text{олефины}} C_{\text{моноаром.}}; \\
 \frac{dC_{\text{газ}}}{dt} &= 2k_3 C_{\text{параф.СМ}} + 2k_5 C_{\text{изопараф.}} + 2k_6 C_{\text{олефины}} - 2k_{-6} C_{\text{газ}}; \\
 \frac{dC_{\text{нафтен}}}{dt} &= k_8 C_{\text{нафтыВМ}} - k_7 C_{\text{нафты}} C_{\text{олефины}} + k_{13} C_{\text{олефины}} - k_{-13} C_{\text{нафты}}; \\
 \frac{dC_{\text{моноароматика}}}{dt} &= k_7 C_{\text{нафты}} C_{\text{олефины}} + k_9 C_{\text{ароматика}} - k_{14} C_{\text{моноаром.}} - \\
 &\quad - k_{-9} C_{\text{моноаром.}} C_{\text{олефины}} + k_{-14} C_{\text{олефины}} C_{\text{моноаром.}}; \\
 \frac{dC_{\text{нафтыВМ}}}{dt} &= -k_8 C_{\text{нафтыВМ}} - k_{10} C_{\text{нафтыВМ}}; \\
 \frac{dC_{\text{ароматика}}}{dt} &= -k_9 C_{\text{ароматика}} + k_{-9} C_{\text{моноаром.}} C_{\text{олефины}} + k_{10} C_{\text{нафтыВМ}} - 2k_{11} C_{\text{аром.}}^2; \\
 \frac{dC_{\text{смолы}}}{dt} &= k_{11} C_{\text{ароматика}}^2 - k_{12} C_{\text{смолы}}; \\
 \frac{dC_{\text{кокс}}}{dt} &= k_{12} C_{\text{смолы}}; \\
 \frac{dC_{\text{H}_2}}{dt} &= 3k_{10} C_{\text{нафтыВМ}} + k_{11} C_{\text{ароматика}}^2 + 2k_7 C_{\text{олефины}} C_{\text{нафты}};
 \end{aligned} \right.$$

где d – концентрация соответствующего i-го псевдокомпонента; τ – время контакта, с; k – константа скорости реакции, соответствующая рис. 2.

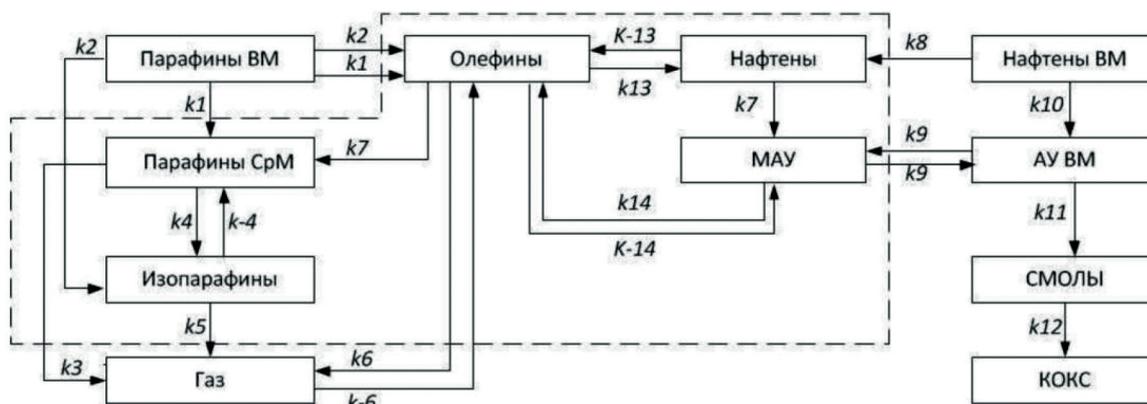


Рисунок 2. Формализованная схема превращений углеводородов процесса каталитического крекинга  
Источник: [3]

Экспериментальные исследования для оценки эффективности предложенной системы

Процесс каталитического крекинга в псевдоожиженном слое катализатора играет особую роль на нефтеперерабатывающих предприятиях, так как он является важнейшим конверсионным процессом переработки нефтяного сырья в легкие фракции. Для большинства предприятий нефтепереработки установки каталитического крекинга обладают первостепенной важностью в плане достижения рентабельности. Поскольку успешная работа этих установок определяет конкурентные возможности предприятия на внутреннем и мировом рынках. Данные для модели взяты из мониторинга реакторно-регенераторного блока комплекса КТ – 1/1.

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков. Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фак-

тор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности используются следующие основные показатели: чистая текущая стоимость (NPV), индекс доходности (PI), внутренняя ставка доходности (IRR).

Расчет чистой текущей стоимости представлен в табл. 1. При расчете рентабельность проекта составляла 20%, амортизационные отчисления – 10%.

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$KD = \frac{1}{(1+i)^t}$$

где i – ставка дисконтирования, 20%; – шаг расчета.

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 696 280 руб., что позволяет судить об его эффективности.

Индекс доходности (PI) – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру



Таблица 1. Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

Наименование показателя	Шаг расчета				
	0	1	2	3	4
Выручка от реализации, руб.	0	1 355 908,92	1 355 908,92	1 355 908,92	1 355 908,92
Итого приток, руб.	0	1 355 908,92	1 355 908,92	1 355 908,92	1 355 908,92
Инвестиционные издержки, руб.	-1 129 924	0	0	0	0
Операционные затраты, руб.	0	1 098 514,14	1 098 514,14	1 098 514,14	1 098 514,14
Налогооблагаемая прибыль(1-4)	0	257 394,78	257 394,78	257 394,78	257 394,78
Налоги 20%, руб. (5*20%)	0	51 478,956	51 478,956	51 478,956	51 478,956
Чистая прибыль, руб.(5-6)	0	205 915,824	205 915,824	205 915,824	205 915,824
Чистый денежный поток (ЧДП), руб.	-1 129 924	705 915,824	705 915,824	705 915,824	705 915,824
Коэффициент дисконтирования	1	0,833	0,694	0,578	0,482
Чистый дисконтированный денежный поток (ЧДД), руб.(9*10)	-1 129 924	588 027,88	489 905,58	408 019,34	340 251,42
ZЧДД	1 826 204,23				
NPV, руб.	696 280,14				

инвестиционного капитала. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1+i)^t} / I_0$$

где ЧДД – чистый денежный поток, руб.; 0 – начальный инвестиционный капитал, руб.

Таким образом, PI для данного проекта составляет:

$$PI = \frac{182620,4}{1129924,1} = 1,62$$

Индекс доходности больше 1, проект является эффективным:

Внутренняя ставка доходности (IRR). Значение ставки, при которой обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности», или IRR. Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или равна 0.

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в табл. 2 и на рис. 2.

Из табл. 2 и графика на рис. 3 следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обра-

Таблица 2. Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№ п/п	Наименование показателя	0	1	2	3	4	
1	Чистые денежные потоки, руб.	-1 129 924	705 915,824	705 915,824	705 915,824	705 915,824	NPV, руб.
2	Коэффициент дисконтирования						
	0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350	
	0,4	1	0,714	0,510	0,364	0,260	
	0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	0,6	1	0,625	0,390	0,244	0,153	
	0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,112	
	0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	1	1	0,500	0,250	0,125	0,062	
3	Дисконтированный денежный поток, руб.						
	0,1	-1 129 924,1	641 677,5	583 086,5	530 142,8	482 140,5	1 107 123,1
	0,2	-1 129 924,1	588 027,9	489 905,6	408 019,3	340 251,4	696 280,1



№ п/п	Наименование показателя	0	1	2	3	4	
	0,3	-1 129 924,1	542 849,3	417 902,2	321 191,7	247 070,5	399 089,6
	0,4	-1 129 924,1	504 023,9	360 017,1	256 953,4	183 538,1	174 608,3
	0,5	-1 129 924,1	470 845,9	313 426,6	208 245,2	139 771,3	2364,9
	0,6	-1 129 924,1	441 197,4	275 307,2	172 243,5	108 005,1	-133 171,0
	0,7	-1 129 924,1	415 078,5	236 481,8	143 300,9	79 062,6	-256 000,3
	0,8	-1 129 924,1	392 489,2	218 128,0	120 711,6	67 062,0	-331 533,3
	0,9	-1 129 924,1	371 311,7	195 538,7	103 063,7	54 355,5	-405 654,5
	1,0	-1 129 924,1	352 957,9	176 479,0	88 239,5	43 766,8	-468 481,0

щается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности», или «внутренней нормы прибыли». Из графика на рис. 3 получаем, что IRR составляет 0,51.

Запас экономической прочности проекта:  $51\% - 20\% = 31\%$ .

Дисконтированный срок окупаемости  $PP_{диск} = 1 + (541\,896,2/489\,905,6) = 2,1$  года.

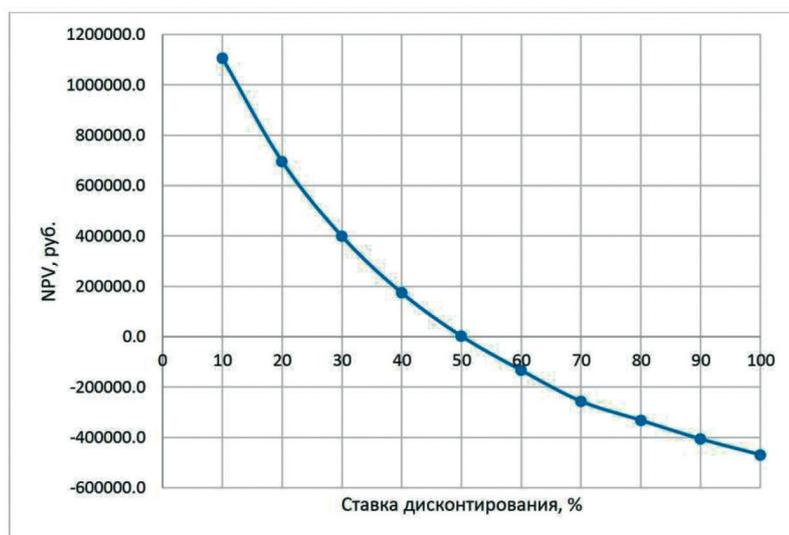


Рисунок 3. Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Источник: [1]

## Заключение

Анализ значений интегральных показателей эффективности позволяет прийти к выводу, что предложенный вариант реализации проекта демонстрирует наивысшую эффективность в решении технической задачи, поставленной в магистерской диссертации, с точки зрения финансовых и ресурсных аспектов. В процессе оценки дополнительных параметров эффективности была рассчитана чистая текущая стоимость проекта, индекс доходности, внутренняя ставка доходности, срок окупаемости 2,1 года. Таким образом, проект можно считать ресурсоэффективным, обладающим достаточной финансовой устойчивостью.

## Источники

1. Баннов П.Г. Процессы переработки нефти: Учеб.-метод. пособие. СПб.: Химиздат, 2019. 368 с.

2. Кондрашева Н.К., Кондрашев Д.О., Абдульминев К.Г. Технологические расчеты и теория каталитического риформинга бензина. Уфа: Монография, 2018. 160 с.

3. Установка гидроочистки дизельного топлива, керосина, бензина, нефти [Электронный ресурс]. PRONPZ. Нефтепереработка. URL: <https://pronpz.ru/ustanovki/gidroochistka.html>

## References

1. Bannov P.G. Oil refining processes: Textbook-method. manual. SPb.: Khimizdat, 2019. 368 p.
2. Kondrasheva N.K., Kondrashev D.O., Abdulminev K.G. Technological calculations and theory of catalytic reforming of gasoline. Ufa: Monograph, 2018. 160 p.
3. Installation of hydrotreating of diesel fuel, kerosene, gasoline, naphtha [Electronic resource]. PRONPZ. Oil refining. URL: <https://pronpz.ru/ustanovki/gidroochistka.html>



УДК 620.193:621.643

# Анализ эксплуатационных отказов и технологических вызовов применения дуплексных нержавеющей сталей в критической инфраструктуре России

**С.Н. Петрусевич,**

аспирант, НОЦ ВКО «Алмаз-Антей»;  
Москва  
e-mail: sn.petrusevich@yandex.ru

**П.Л. Жилин,**

канд. техн. наук, доцент,  
НГТУ имени Р.Е. Алексеева;  
Нижний Новгород  
e-mail: cc.nn@mail.ru

**Аннотация.** Дуплексные нержавеющей стали, отличающиеся аустенитно-ферритной микроструктурой, играют ключевую роль в высокотехнологичных отраслях, таких как атомная энергетика, нефтегазовая и химическая промышленность, благодаря уникальному сочетанию механической прочности и коррозионной стойкости. В России их использование поддерживает программы импортозамещения, особенно в системах подводной добычи углеводородов и критической инфраструктуре. В статье анализируются случаи эксплуатационных отказов дуплексных сталей на примере теплообменного оборудования и трубопроводных систем. Рассматриваются основные механизмы отказов, включая питтинговую коррозию, микробиологически индуцированное осаждение минералов и сероиндуцированную деградацию. Результаты подчеркивают критическое влияние условий эксплуатации – застоя жидкостей, повышенных температур и агрессивных сред с хлоридами и сероводородом – на свойства материалов. Технологические аспекты, включая параметры сварки и выбор материалов, определены как ключевые для обеспечения надежности.

**Ключевые слова:** дуплексные нержавеющей стали, аустенитно-ферритная сталь, коррозионная

стойкость, эксплуатационные отказы, питтинговая коррозия, микробиологически индуцированная коррозия, трубопроводные системы, теплообменники.

**Summary.** Duplex stainless steels, characterized by their austenitic-ferritic microstructure, play a pivotal role in high-tech industries such as nuclear power, oil and gas, and chemical processing. This is due to their unique combination of mechanical strength and corrosion resistance. In Russia, their application supports import substitution programs, particularly in subsea hydrocarbon production systems and critical infrastructure.

This article analyzes instances of operational failures of duplex steels, exemplified by heat exchange equipment and pipeline systems. It examines the primary failure mechanisms, including pitting corrosion, microbially induced mineral deposition, and sulfur-induced degradation. The findings underscore the critical influence of operational conditions — such as stagnant fluids, elevated temperatures, and aggressive media containing chlorides and hydrogen sulfide — on material properties. Technological aspects, including welding parameters and material selection, are identified as key to ensuring reliability.

**Keywords:** duplex stainless steels, austenitic-ferritic steel, corrosion resistance, operational failures, pitting corrosion, microbially induced corrosion, piping systems, heat exchangers.

## Введение

В современных условиях повышенных требований к материалам критически важных инфраструктур особое место занимают так называемые дуплексные стали. Своё название они получили из-за особой двухфазной микроструктуры, сочетающей феррит и аустенит в различных соотношениях. Именно эта особенность аустенитно-ферритных сталей обеспечивает уникальное



сочетание свойств низкоуглеродистых сталей и нержавеющей сплавов, что делает дуплексные стали пригодными для применения в высокотехнологичных и критически важных отраслях промышленности, таких как атомная энергетика, нефтегазодобывающая промышленность, химическая промышленность и др.

В России перспективы роста использования дуплексных сталей коррелируют с программами импортозамещения. Например, при проектировании трубопроводов отечественных систем подводной добычи углеводородов широкое распространение получили аустенитно-ферритные стали с содержанием хрома 22% (дуплексная) и 25% (супердуплексная) [1]. Выбор материалов для трубопроводов обусловлен условиями эксплуатации. При совместном воздействии агрессивных сред, таких как сероводород и двуокись углерода, при давлении, вызывающем минимальные растягивающие напряжения, трубопроводы, изготовленные из высоколегированных аустенитных сталей и из сталей с ферритной структурой, менее эффективны в эксплуатации в сравнении с трубопроводами, изготовленными из дуплексных нержавеющей сталей [2].

Однако с увеличением объёмов применения дуплексных сталей вопросы обеспечения качества продукции приобретают особую значимость. Несмотря на технологические преимущества дуплексных сталей, их эксплуатационные свойства критически зависят от соблюдения строгих параметров обработки на всех этапах производства. Научные изыскания [1] демонстрируют, что при выполнении сварочных операций на трубопроводах, изготовленных из дуплексных сталей, та-

кие технические параметры, как уровень погонной энергии, профессиональная квалификация сварщика, межваликовая температура и выбор сварочных материалов, оказывают значительное влияние на конечный результат.

Примеры эксплуатационных дефектов дуплексных сталей

Исследование фактических случаев разрушения изделий из дуплексных сталей предоставляет возможность глубже проанализировать основные риски, связанные с их эксплуатацией, а также идентифицировать критические аспекты в технологических процессах.

Исследование [3] причин отказа теплообменного оборудования, изготовленного из дуплексной нержавеющей стали марки UNS S31803 и эксплуатируемого в системе охлаждения электростанции, выявило, что, несмотря на широкий диапазон технологических возможностей применения дуплексных сталей, они не являются универсальным решением для всех эксплуатационных условий. За 28 месяцев эксплуатации из 270 трубок теплообменника 102 были повреждены: 26 дали течь, а 76 забились отложениями (распределение представлено на рисунке).

В рамках исследования был применён комплекс методов для выявления причин деградации системы. Визуальный осмотр показал наличие белой биоплёнки внутри труб и локальных питтинговых повреждений под прокладками. Микроструктурный анализ выявил преимущественное поражение коррозией аустенитных зёрен, что характерно для щелевой коррозии. Рентгенография и сканирующая электронная ми-

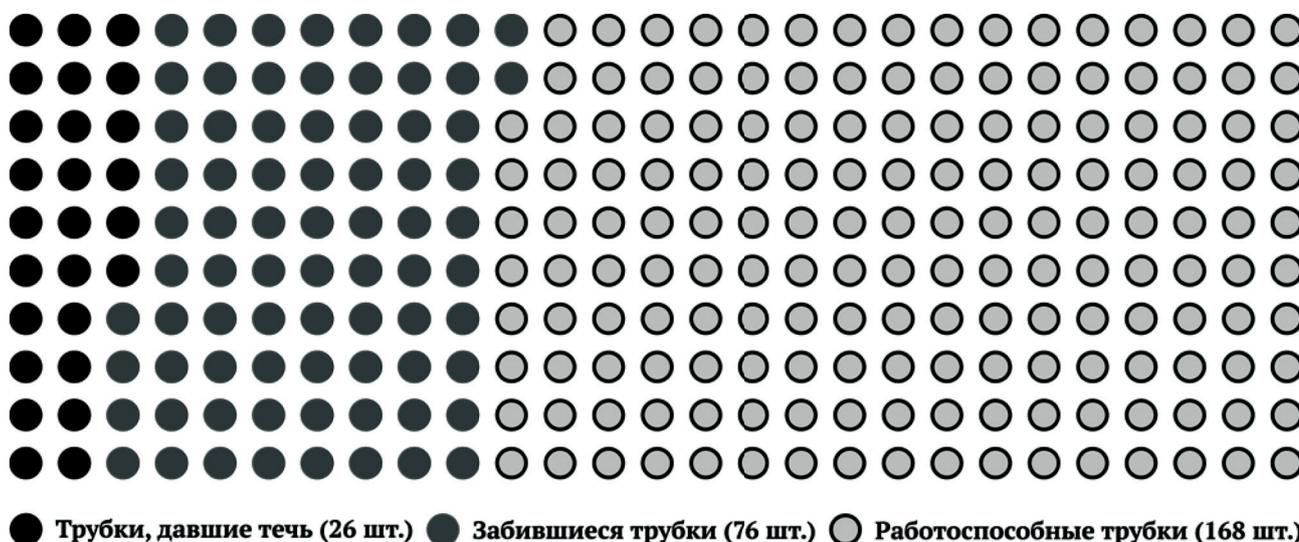


Рисунок 1. Распределение работоспособности трубок теплообменника



микроскопия (далее – SEM) отложений внутри труб продемонстрировали доминирование карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) и доломита ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), что связано с микробиологически индуцированным осаждением минералов (MICP). Эти отложения способствовали формированию локальных коррозионных очагов.

В рамках другого исследования [4] проведена оценка трёх сегментов трубопроводных систем, изготовленных из дуплексной нержавеющей стали марки UNS S31803. Два сегмента эксплуатировались в условиях транспортировки газового конденсата, третий – для подачи водных сред. Несмотря на высокую коррозионную стойкость материала, характерную для данного класса сплавов, после технологического простоя продолжительностью 6–8 месяцев зафиксированы дефекты в виде утечек и локальных коррозионных повреждений, включая питтинговые образования. Исследование включало химический и микроструктурный анализ, подтвердивший соответствие материала и отсутствие дефектов производства, а также рентгенофлуоресцентный анализ обнаруженных отложений, выявивший высокую концентрацию хлора, железа и кремния. Коррозионные тесты в хлориде железа показали умеренные питтинги, а азидные пробы указали на возможное участие сульфат-восстанавливающих бактерий. Основными причинами отказов стали застой жидкости, приводящий к испарению воды и росту концентрации солей, проникновение кислорода, создающее условия для электрохимической коррозии, и нагрев трубопроводов до  $70^\circ\text{C}$  при солнечном воздействии.

Другим примером стал анализ механизма разрушения теплообменника на нефтеперерабатывающем заводе, эксплуатирующегося в агрессивной среде с одновременным воздействием сероводорода (29%  $\text{H}_2\text{S}$ ) и хлоридов морской воды [5]. Несмотря на высокую коррозионную стойкость материала UNS S31803, питтинговые повреждения были обнаружены уже через несколько дней работы оборудования. Условия эксплуатации включали температуру  $30\text{--}43^\circ\text{C}$ , давление до 490 кПа и кислую среду (pH 3,7–4), что создало идеальные условия для ускоренной деградации. С помощью оптической микроскопии и SEM обнаружены локальные питтинги на внешней поверхности труб, контактирующей с серосодержащими углеводородами. Элементный состав коррозионных продуктов показал резкое увеличение содержания серы в повреждённых зонах (11,2% по массе против 1,13% в неповреждённых участках). Механизм разрушения объясняется взаимодействием серы с компонентами

стали. В кислой среде сероводород реагирует с никелем и железом, формируя сульфиды ( $\text{Ni}_3\text{S}_2$ ,  $\text{FeS}_2$ ), которые образуют локальные зоны повышенной реакционной активности. Хромовые оксиды ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), ответственные за пассивность материала, не могут компенсировать рост сульфидных включений. Это приводит к дестабилизации защитного слоя и инициации питтингов. Дополнительным фактором стали хлориды морской воды, усиливающие агрессивность среды и ускоряющие точечное разрушение.

## Заключение

Обобщая результаты проведенного обзора, можно заключить, что даже высококоррозионностойкие сплавы требуют строгого контроля условий эксплуатации, включая температуру, pH и состав среды. Критическое значение имеют технологические аспекты: предотвращение застоя жидкостей, соблюдение параметров сварки и использование материалов с повышенным индексом сопротивления коррозии. Для России освоение таких технологий приобретает стратегическую важность в рамках программ импортозамещения, особенно при реализации арктических проектов и модернизации критической инфраструктуры в условиях санкционного давления. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию применения дуплексных сталей в арктических проектах и других экстремальных условиях, что соответствует долгосрочным целям технологического суверенитета страны.

## Источники

1. Гусев И.Я., Кривцов Э.Р., Пузько Л.В. и др. Технологические особенности сварки аустенитно-ферритной супердуплексной нержавеющей стали UNS S32750 при изготовлении трубопроводов системы подводной добычи углеводородов // Газовая промышленность. 2024. № S1(863). С. 60–69. EDN ZCTFLX.
2. Филистеев В.Г., Стеклова Е.О. Дуплексные стали для транспорта агрессивных сред, содержащих сероводород и двуокись углерода // Экспозиция. Нефть Газ. 2023. № 1(94). С. 82–87. DOI 10.24412/2076-6785-2023-1-82-87. EDN UYSEWK.
3. Ardy H., Albatros T., Sumboja A. Failure analysis of duplex stainless steel for heat exchanger tubes with seawater cooling medium // Metals. 2023. No. 13. P. 1–15.



4. AlKharusi A., Saithala J.R., AlGhafri M., Nabhani T. Field Experience of Duplex Stainless-Steel Pipes in Stagnant Condition // AMPP 2024 Conference, New Orleans, USA, May 2024. URL: <https://www.researchgate.net/publication/380758567>

5. Siracusa G., La Rosa A.D. Sulphur-induced corrosion in duplex stainless steel: a case study in a petroleum refinery // High Performance Structures and Materials II / Ed. by C.A. Brebbia, W.P. De Wilde. Southampton: WIT Press, 2004. P. 139–146.

## Sources

1. Gusev I.Ya., Krivtsov E.R., Puzko L.V., et al. Technological features of welding austenitic-ferritic superduplex stainless steel UNS S32750 in the manufacture of pipelines for the underwater hydrocarbon production system // Gas Industry. 2024. No. S1(863). Pp. 60–69. EDN ZCTFLX.

2. Filisteev V.G., Steklova E.O. Duplex steels for transporting aggressive environments containing hydrogen sulfide and carbon dioxide // Exposition. Oil Gas. 2023. No. 1(94). Pp. 82–87. DOI 10.24412/2076-6785-2023-1-82-87. EDN UYSEWK.

3. Ardy H., Albatros T., Sumboja A. Failure analysis of duplex stainless steel for heat exchanger tubes with seawater cooling medium // Metals. 2023. No. 13. P. 1–15.

4. Al Kharusi A., Saithala J.R., Al Ghafri M., Nabhani T. Field Experience of Duplex Stainless-Steel Pipes in Stagnant Condition // AMPP 2024 Conference, New Orleans, USA, May 2024. URL: <https://www.researchgate.net/publication/380758567>

5. Siracusa G., La Rosa A.D. Sulfur-induced corrosion in duplex stainless steel: a case study in a petroleum refinery // High Performance Structures and Materials II / Ed. by C.A. Brebbia, W.P. De Wilde. Southampton: WIT Press, 2004, pp. 139–146.

# Совершенствование процесса поверки средств измерений с применением риск-ориентированного подхода (на примере конкретной организации)

## Л.Н. Третьяк,

*д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой метрологии, стандартизации и сертификации ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»; г. Оренбург  
e-mail: tretyak\_ln@mail.ru*

## С.А. Лабутина,

*магистрант кафедры метрологии, стандартизации и сертификации (направление подготовки 27.04.02 – Управление качеством (образовательная программа «Интегрированные системы менеджмента»)), ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»; г. Оренбург  
e-mail: labutina\_sa@mail.ru*

**Ключевые слова:** аккредитация, метрологическая служба, поверка, риск, риск-ориентированный подход, средство измерений, система менеджмента качества.

**Summary.** The article highlights the advantages of a risk-based approach in relation to the activities of ASU PRO LLC. Information is provided on the main activities of the laboratory of the metrological service. The results of the assessment of the compliance of the metrological service with the criteria of accreditation are presented. The analysis of the “strengths” and “weaknesses” allowed us to determine the current situation and prospects for the development of verification activities in the laboratory. The algorithm of the process «To verify measuring instruments in the laboratory of LLC ASU PRO» has been developed. The results of the identification and analysis of risks during laboratory verification work are presented in the form of a risk register. The final part presents the results of testing the standardized RACI method for risk management system processes in relation to the activities of the metrological service of the organization in question.

**Keywords:** accreditation, metrological service, verification, risk, risk-based approach, measuring instrument, quality management system.

Согласно национальному стандарту РФ (ГОСТ Р ИСО 31000-2019 «Менеджмент риска. Принципы и руководство»), «менеджмент риска – это скоординированные действия по руководству и управлению организацией в области риска» [1]. Применение принципов менеджмента риска позволяет организациям своевременно выявлять и управлять рисками (угрозами), а также существенно снижать степень влияния негативных факторов. Учитывая, что основная деятельность метрологической службы (МС) аккредитованной организации ООО «АСУ ПРО» – поверка средств измерений (СИ), следует согласиться с мнением авторов статьи [2], что

**Аннотация.** В статье подчеркнуты преимущества риск-ориентированного подхода применительно к деятельности лаборатории метрологической службы ООО «АСУ ПРО». Представлена информация об основных направлениях деятельности лаборатории. Приведены результаты оценки соответствия деятельности метрологической службы критериям аккредитации. Анализ «сильных» и «слабых» сторон позволил определить текущее положение и перспективы развития поверочной деятельности в лаборатории. Разработан алгоритм процесса «Провести поверку средств измерений в лаборатории ООО «АСУ ПРО». Результаты идентификации и анализа рисков при поверочных работах лаборатории представлены в виде реестра рисков. В заключительной части приведены результаты апробации стандартизованного метода RACI для процессов системы менеджмента риска применительно к деятельности метрологической службы рассматриваемой организации.

«существует потребность в мониторинге рисков». Кроме того, в настоящее время в межгосударственном стандарте ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий» для предотвращения рисков регламентирована необходимость создания и внедрения документированной процедуры.

Развитие системы менеджмента качества (СМК) с применением риск-ориентированного подхода в деятельности МС авторы статьи рассматривают как актуальное и своевременное. Для применения современных подходов и требований к определению рисков и возможностей в деятельности МС необходимо использовать положения ГОСТ Р ИСО 31000-2019. Их анализ показывает, что они применимы для интеграции в деятельности организации любой отрасли. Применительно к деятельности рассматриваемой МС для организации наиболее важно именно метрологическое обеспечение объектов нефте- и газодобывающей отрасли, поскольку лаборатория МС проводит поверку и калибровку СИ как в стационарных условиях, так и в местах осуществления временных работ.

Применение риск-ориентированного подхода в деятельности МС, на наш взгляд, должно способствовать:

- обеспечению достоверности результатов измерений, полученных в процессе поверки и калибровки СИ;
- совершенствованию системы метрологического обеспечения, а также сервисного обслуживания СИ и измерительных систем.

Кроме того, применение риск-ориентированного подхода должно способствовать, как подчеркнуто авторами статьи [3], «снижению риска метрологического отказа (потере метрологической пригодности), который возникает из-за выхода метрологической характеристики СИ за установленные пределы».

Кафедра метрологии, стандартизации и сертификации Оренбургского государственного университета, развивая сотрудничество с организациями, специализирующимися на предоставлении услуг в области метрологического обеспечения, совершенствует практику оценки рисков и ликвидации рисков событий. В частности, авторами в опубликованной ранее статье [4] применительно к объектам топливно-энергетического комплекса составлены «перечни основных рисков и мероприятий по воздействию на них при выполнении поверки СИ в местах осуществления временных работ». В проведенных исследованиях идентификацию рисков с последующей разработкой мероприятий по их снижению рекомендуется рассматривать «как методическую помощь аккредитованной организации в

оценке собственных рисков и выявлении возможностей по их предупреждению» [4].

*Цель исследования* – разработать предложения по совершенствованию процесса поверки СИ с применением риск-ориентированного подхода на примере лаборатории МС.

*Объект исследования* – применение риск-ориентированного подхода к процессу поверки СИ в лаборатории МС.

*Предмет исследования* – риски (неблагоприятные события), возникающие при проведении поверки СИ.

## Результаты исследований и их обсуждение

В опубликованной ранее статье [5] нами была обоснована необходимость внедрения системы управления рисками в поверочной деятельности на примере лаборатории МС. Мы считаем, что применение риск-ориентированного подхода при предоставлении МС услуг по поверке СИ позволит повысить качество и результативность этих видов метрологических работ за счет предоставления руководству информации, отражающей необходимость мероприятий, направленных на улучшение деятельности и удержание выявленных рисков на необходимом для организации уровне.

В ходе исследования нами был выполнен анализ аккредитационных требований, регламентированных приказом Министерства экономического развития РФ от 26 октября 2020 г. № 707 с последующей оценкой соответствия деятельности МС критериям аккредитации (табл. 1).

Проведенный нами контроль документов СМК МС подтвердил соответствие требованиям, установленным приказом Минэкономразвития России № 707, в отношении всех видов, что демонстрирует эффективность и надежность внедренных процессов. Однако при анализе содержания п. 46.13 было установлено, что раздел Руководства по качеству (РК) только частично соответствует требованиям приказа. Поэтому можно констатировать, что полное соответствие характерно только для пункта «а». Выявленное нами обстоятельство частичного несоответствия позволяет сделать вывод о возможных трудностях, которые ожидают организацию при прохождении подтверждения компетентности. В связи с этим разработку и внедрение инструкции по управлению рисками и возможностями следует считать обязательным мероприятием. С учетом изложенного, для успешного развития СМК с элементами риск-менеджмента в деятельности МС нами выполнен SWOT-анализ.

Модель углубленного SWOT-анализа, по мнению авторов [6], следует рассматривать как «ин-

**Таблица 1. Оценка соответствия МС критериям аккредитации (фрагмент)**

№ п/п	Описание критерия	Наличие регламентирующих документов	Подтверждение соблюдения/несоблюдения требования
46	Наличие разработанного заявителем или аккредитованным лицом документа системы менеджмента качества, содержащего требования системы менеджмента качества (СМК), содержащего требования СМК, который оформляется в виде единого документа или в виде совокупности документов, подписывается руководителем заявителя (аккредитованного лица)	Руководство по качеству выполнения работ (оказания услуг) по обеспечению единства измерений в области аккредитации (РК), иные документы СМК	Соответствует
46.13	...систему управления рисками и возможностями, предусматривающую:		
	а) рассмотрение рисков и возможностей, связанных с деятельностью в области аккредитации	РК, раздел 15	Соответствует
	б) принятие необходимых действий соразмерно их влиянию на достоверность результатов деятельности в области аккредитации	РК, раздел 15	Соответствует частично
	в) стремление к получению обратной связи от заказчиков, ее анализ и применение для улучшения системы менеджмента качества и обслуживания заказчиков		

струмент для анализа предприятия, основанный на комплексном применении различных инструментов анализа и оценки деятельности предприятия». В частности, для достижения поставленной цели предлагаемая нами модель должна содержать стандартную и перекрестную (сводную) матрицы, а также матрицу взвешенной балльной оценки (рангов).

Анализ «сильных» и «слабых» сторон позволил нам определить текущее положение и перспективы развития поверочной деятельности в лаборатории МС. Приведенный фрагмент перекрестной (сводной) матрицы (табл. 2) содержит предложенные нами мероприятия в зависимости от «сильных» и «слабых» (strengths и weaknesses соответственно) сторон, а также «возможностей» и «угроз»

**Таблица 2. SWOT-анализ поверочной деятельности МС (фрагмент)**

Мероприятия использования возможностей (S – O)	Мероприятия по защите от угроз (S – T)
Внедрение современных технологий дистанционного обучения, организация стажировочных программ	Создание системы наставничества от опытных сотрудников, организация кадрового резерва молодых специалистов
Создание собственного резервного фонда эталонных средств измерений, применяемых при поверке СИ	Промежуточные проверки СИ, применяемых при поверке СИ, формирование базы вспомогательных запчастей и материалов для замены
Внедрение цифровых технологий для оптимизации рабочих процессов	Совершенствование системы управления рисками поверочной деятельности МС ООО «АСУ ПРО»
Расширение области аккредитации по поверке СИ в целях увеличения доходов и престижности	Создание системы лояльности заказчиков
Открытие региональных представительств МС ООО «АСУ ПРО» рядом с крупными производственными объектами	Адаптация к ужесточению требований, а именно создание системы быстрого реагирования на изменения в нормативно-законодательной базе
Мероприятия по преодолению слабостей (W – O)	Мероприятия по минимизации рисков (W – T)
Совершенствование системы наставничества стажеров	Создание системы раннего выявления потребности в персонале
Использование лизинга оборудования, внедрение автоматизированных систем поверки для снижения затрат на обслуживание	Оптимизация парка оборудования за счет многофункциональных решений

Продолжение табл. 1

Мероприятия использования возможностей (S – O)	Мероприятия по защите от угроз (S – T)
Создание системы выявления потребности обучения в связи с изменениями	Внедрение матрицы взаимодействий
Создание мобильного приложения для взаимодействия с клиентами, создание системы партнерских отношений с производителями СИ	Создание матрицы (карты) рисков и план их минимизации
Участие в отраслевых выставках и конференциях, запуск информационной кампании в digital-среде	Формирование базы данных клиентов с указанием сроков поверки (калибровки) СИ

(opportunities и threats соответственно) со стороны внешней среды.

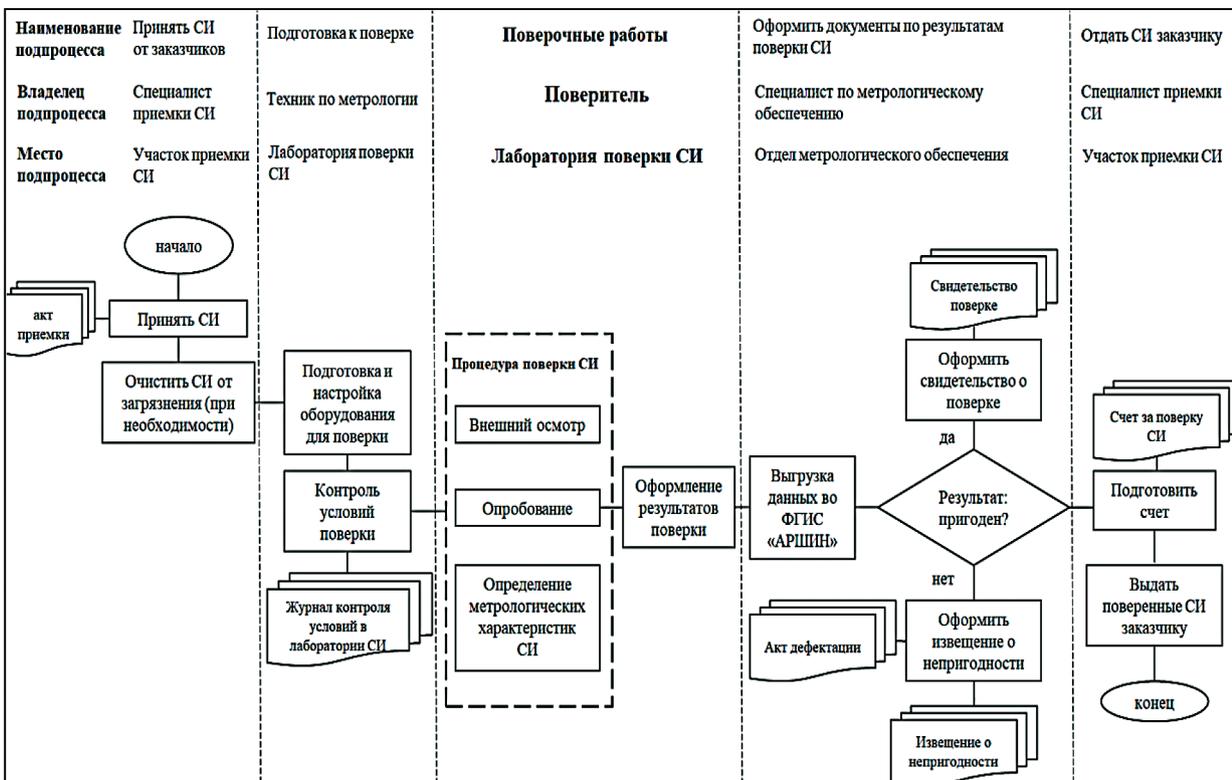
Апробации риск-ориентированного подхода предшествовал алгоритм, разработанный нами для процесса «Провести поверку средств измерений в лаборатории ООО «АСУ ПРО» (см. рисунок). Этот алгоритм позволил не только формально описать последовательность действий, но и представить процесс в виде подробной карты для всех этапов и операций, начиная с момента приемки СИ и заканчивая их выдачей, а также разработкой сопроводительных документов о поверке СИ. Примененный подход позволил авторам статьи обеспечить полное представление о потенциальных источниках рисков, включая не только технические и процессуальные аспекты, но и риски, связанные с человеческим фактором.

В ходе мониторинга рассматриваемого процесса по выполнению поверочных работ в лаборатории МС нами установлено, что существует высокая вероятность возникновения рисков событий. Этот факт послужил основанием для разработки реестра рисков подпроцессов МС и идентификации их владельцев (табл. 3).

Как известно (ГОСТ Р ИСО 9001-2015 «Система менеджмента качества. Требования»), «организация должна определять процессы, необходимые для функционирования системы менеджмента качества, и их применение в рамках организации, а также распределять обязанности, ответственность и полномочия в отношении этих процессов».

Проведенный нами анализ источников позволил установить наиболее часто используемый для этих целей инструмент – матрицу распределения ответ-

Качество и Жизнь ■ 2025'2



Алгоритм процесса «Провести поверку средств измерений в лаборатории МС»

**Таблица 3. Реестр рисков при выполнении поверочных работ в лаборатории МС**

№ п/п	Наименование подпроцесса	Владелец подпроцесса	Наименование риска	Последствия
1	Принять СИ от заказчика	Специалист приемки СИ	Риск отсутствия необходимых документов (например, паспортов СИ) или их неправильного заполнения	Увеличение сроков выполнения поверки СИ, отказ в проведении поверочных работ СИ
			Риск нарушения условий транспортировки СИ (повреждение СИ, что приведет к его неисправности)	Необходимость проведения ремонта и повторной поверки СИ
			Риск утечки или неправомерного использования сведений заказчика	Репутационные потери и потенциальные иски от заказчиков
2	Подготовить СИ и условия к поверке СИ	Техник по метрологии	Риск повреждения СИ при подготовке к поверке СИ	Дополнительные затраты на ремонт или замену СИ
			Риск неправильной очистки СИ	Невозможность проведения поверки СИ из-за наличия загрязнений
			Риск нарушения требований к условиям поверки СИ	Получение недостоверных результатов поверки СИ
			Риск использования дефектного вспомогательного оборудования	
3	Выполнить поверочные работы СИ	Поверитель	Риск несоблюдения (метода) измерений	Получение недостоверных результатов поверки СИ
			Риск несоблюдения требований техники безопасности	Получение производственных травм
			Риск отсутствия поверочного оборудования (находится на периодической поверке)	Увеличение сроков выполнения поверки СИ, отсутствие возможности выполнить срочную поверку СИ, потеря прибыли
4	Оформить документы по результатам поверки СИ	Специалист по метрологическому обеспечению	Риск неправильного оформления свидетельства о поверке СИ/извещения о непригодности	Аннулирование результатов поверки СИ во ФГИС «АРШИН»
			Риск несвоевременного оформления и выдача документов	Нарушение законодательства об ОЕИ
5	Выдать поверенные СИ заказчику	Специалист приемки	Риск выдачи СИ без сопроводительной документации	Невозможность использования СИ заказчиком
			Риск нарушения сроков выдачи СИ	Неудовлетворенность заказчиков, поступление рекламаций
			Риск поступления претензий (рекламаций) от заказчиков	Ущерб репутации МС, возможная потеря заказчиков

*Примечание.* Систематизировано авторами статьи.

ственности. Стандартизованный метод RACI (ГОСТ Р ИСО 13053-2-2015 «Статистические методы. Количественные методы улучшения процессов. Шесть сигм. Часть 2. Методы») позиционируется как матрица «ответственный за выполнение, ответственный за проверки, с кем можно проконсультироваться, кого следует информировать». Метод не относится к обязательным, однако его применение позволяет более четко распределить роли и обязанности.

Авторы статьи подчеркивают [7], что применение метода RACI позволяет «выстроить более продуктивную систему коммуникаций между всеми участниками благодаря разработке интерфейса связи («Консультант» и «Информированный»)). Другими словами, применение матрицы направлено на формализацию различных ролевых функций. За последние годы этот метод получил применение в отдельных отраслях деятельности, в частности,

как инструмент управления ответственностью на объектах деревообрабатывающего комплекса [7], а также в деятельности коммерческих банков [8]. Случаев применения метода RACI в метрологической деятельности в доступных источниках мы не обнаружили. Однако считаем разработку матрицы распределения ответственности (табл. 4) при выполнении поверочных работ как значимый элемент в развитии СМК с применением риск-ориентированного подхода к деятельности МС. Матричный подход при управлении качеством поверочных работ позволит обеспечить надежность и устойчивость деятельности, будет способствовать снижению финансовых и репутационных рисков, а также развитию профессиональных навыков работников.

### Заключение

Разработанные авторами статьи мероприятия и предложения применительно к поверочной деятельности лаборатории МС будут способствовать развитию риск-ориентированного подхода, в том числе совершенствованию собственной системы рисков и возможностей. Полученные результаты исследования в перспективе нами рекомендуется применять для реализации требований приказа

Минэкономразвития от 26 октября 2020 г. № 707 «Критерии аккредитации». Дальнейшее развитие риск-ориентированного подхода в деятельности лаборатории мы видим в разработке и внедрении инструкции по управлению рисками и возможностями.

### Источники

- ГОСТ Р ИСО 31000-2019. Менеджмент риска. Принципы и руководство. Введ. 2020-03-01. М.: Стандартинформ, 2020. 19 с.
- Шкаруба Н.Ж. Система оценки рисков поверки и калибровки средств измерений в аккредитованных лабораториях // Наука без границ. М., 2019. № 6. 7 с.
- Сулаберидзе В.Ш. Метрологическая надежность средств измерений и оценка риска метрологического отказа // Вестник Тамбовского государственного технического университета. Тамбов, 2023. Т. 29. С. 574–584.
- Третьяк Л.Н., Андреев П.О., Петрова Д.С. Идентификация и управление рисками организации при выполнении поверки средств измерений в местах осуществления временных работ // Качество и жизнь. М., 2024. № 1, 2. С. 17–25.

**Таблица 4. Матрица распределения ответственности за процессы системы менеджмента риска для МС**

Процессы системы менеджмента риска		Ответственное лицо							
		Директор ООО «АСУ ПРО»	Начальник МС	Экономист по сбыту	Специалист приемки СИ	Менеджер по качеству МС	Техники по метрологии	Поверители	Специалисты по МО
Процессы	Выявление рисков процесса поверки СИ	–	I	A	A	R+A	A	A	A
	Определение возможных последствий процесса поверки СИ	–	C	–	–	R+A	–	–	–
	Оценка уровня риска процесса поверки СИ	–	I+C	–	–	R+A	–	–	–
	Разработка и заполнение реестра рисков	–	C	–	–	R+A	–	–	–
	Подготовка паспорта рисков	–	C	–	–	R+A	–	–	–
	Разработка плана мероприятий по управлению рисками процесса поверки СИ	–	I+C	–	–	R+A	–	–	–
	Мониторинг и пересмотр	I	C	A	A	R+A	A	A	A
	Ознакомление	I	R	R	R	R	R	R	R

Условные обозначения:

- R (ответственный): лицо, принимающее ответственность за конечный результат;
- A (исполнитель): работник, непосредственно выполняющий работу;
- C (утверждает): специалист, привлекаемый для консультаций и экспертиз;
- I (информируется): работники, которым необходимо быть информированными о ходе работ

Источник: разработано авторами статьи

5. Лабутина С.А. К вопросу о необходимости управления рисками в поверочной деятельности метрологической службы ООО «АСУ ПРО» // Материалы МСНК «Студенческий научный форум – 2024». М., 2024. № 17. С. 59–64.

6. Кизка Н.Д., Янгиров А.В. Модель углубленного SWOT-анализа. Model depth SWOT-analysis // Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова. Белгород, 2014. № 3. 7 с.

7. Христоролюбова Д.В., Антонова П.О., Сахаутдинов Р.А. Матрица RACI как инструмент управления

ответственностью и ее практическое применение ООО УК «АЗИМУТ» на объекте деревообрабатывающий комплекс в Калужской области // МНПК «Приоритетные направления современной науки, образования и технологий». М., 2023. С. 183–192.

8. Протасова А.А. Организационная диаграмма проекта по совершенствованию организационной структуры коммерческого банка // VII Интернациональная научно-техническая конференция «Экономика, управление и право». Нижневартовск, 2017. С. 367–372.

## References

1. GOST R ISO 31000-2019. Risk management. Principles and guidelines. – Introduction. 2020-03-01. Moscow: Standartinform, 2020. – 19 p.

2. Shkaruba, N.J. Risk assessment system for verification and calibration of measuring instruments in accredited laboratories // Journal «Science without Borders», Moscow, 2019. – № 6. – 7 p.

3. Sulaberidze, V.Sh. Metrological reliability of measuring instruments and assessment of the risk of metrological failure // Bulletin of Tambov State Technical University. – Tambov, 2023. – № 29. – P. 574-584.

4. Tretyak, L.N., Andreev, P. O., Petrova, D.S. Identification and risk management of an organization when performing verification of measuring instruments at temporary work sites // Quality and Life. – Moscow, 2024. – № 1, 2. – P. 17-25.

5. Labutina, S.A. On the issue of the need for risk management in the verification activities of the metrological service of ASU PRO LLC // Materials of the MSNC Student Scientific Forum 2024. – Moscow, 2024. – № 17. – P. 59-64.

6. Kizka, N. D., Yangirov, A.V. The model of in-depth SWOT analysis // Bulletin of the BSTU named after V. G. Shukhov. – Belgorod, 2014. – № 3. – 7 p.

7. Khristolyubova, D.V., Antonova, P.O., Sakhautdinov, R.A. The RACI matrix as a responsibility management tool and its practical application by AZIMUT Management Company LLC at a tree processing facility in the Kaluga Region // MNPC «Priority areas of modern Science, Education and Technology». – Moscow, 2023. – P. 183-192.

8. Protasova, A.A. Organizational diagram of a project to improve the organizational structure of a commercial bank // VII International Scientific and Technical Conference «Economics, Management and Law». – Nizhnevartovsk, 2017. – P. 367-372.